

高等职业教育教学改革系列规划教材·机械类

数控加工工艺与编程

曹井新 主编

张丽平 陈宝军 温红真 副主编

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书根据工作过程和任务驱动的先进教学理念,以数控加工中的典型加工面为载体,重点突出与操作技能相关的必备专业知识,理论知识以“必需、够用”为原则编写而成。在教材内容方面,安排了数控车削编程模块、数控铣削编程模块和数控电火花线切割编程模块,三个模块中包含圆柱(锥)面、成形面、螺纹(面)、孔(面)、轮廓(面)、腔槽(面)和模具轮廓面数控加工程序的编程等七个情境,每个情境中设置了若干任务,每个任务的内容相对独立,情境中各任务的难度总体上呈递进关系,情境后配有拓展训练任务,供学生课后训练使用。

本书可作为高职高专数控技术专业的教学用书,也可作为行业的岗位培训教材。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

数控加工工艺与编程/曹井新主编.—北京:电子工业出版社,2009.8

(高等职业教育教学改革系列规划教材·机械类)

ISBN 978-7-121-09399-9

I. 数… II. 曹… III. ①数控机床—加工工艺—高等学校:技术学校—教材②数控机床—程序设计—高等学校:技术学校—教材 IV. TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 135213 号

策划编辑:田领红

责任编辑:韩玲玲

印 刷:

装 订:

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本:787×1 092 1/16 印张:16.75 字数:428 千字

印 次:2009 年 8 月第 1 次印刷

印 数:4 000 册 定价:28.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010) 88254888。

质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线:(010) 88258888。

出版说明

职业教育是现代国民教育体系的重要组成部分，在实施科教兴国战略和人才强国战略中具有重要地位。随着我国新型工业化道路步伐加快，职业教育也迎来了蓬勃发展的黄金时期。尤其是近几年的示范性高职院校建设，对于整个中国的高职队伍来说，无疑是一次大机遇。

“国家示范性高等职业院校建设计划”项目于 2006 年启动，分三批在全国 1168 所独立设置的高职高专院校中遴选了 100 所立项建设院校，旨在遴选出一批在国内真正具有引领和示范作用的高职高专院校，以推动我国高等职业教育的改革和发展，进一步提高职业教育整体水平和人才培养质量。启动之初，周济部长就提出了对示范性高职院校的期望：改革的示范、发展的示范、管理的示范。截至目前，示范性院校建设已经初现成果，无论在办学实力、管理水平还是校企合作、辐射能力方面都有大幅度提高，尤其是教学改革方面，更是形成了大批的优秀教改成果和教学资源库。

电子工业出版社作为我国出版职业教育教材较早的出版社之一，多年来，一直在教材领域为战斗在职业教育一线的广大职业院校教育工作者贡献着我们的力量，积累了丰富的职业教育教材出版经验。今天，我们一如继往地秉承“诚信、创新、合作、共享”的企业价值观，联手国家示范性高职院校为推动职业教育发展再添绵力，结合各示范校比较成熟的建设成果和课改经验，着重推出这套“国家示范性高职院校建设项目成果 高等职业教育教学改革系列规划教材”。

本套教材具有以下特点：

1. 教材以行动为导向，以工学结合人才培养模式改革与实践为基础，按照典型性、对知识和能力的覆盖性、可行性原则，遵循认知规律与能力形成规律，设计教学载体，梳理理论知识，明确学习内容，使学生在职业情境中“学中做、做中学”。
2. 打破传统教材按章节划分理论知识的方法，将理论知识按照相应教学载体进行重构，并对知识内容以不同方式进行层面划分，如相关知识、拓展知识等。通过任务的完成使学生学有所用，学以致用，与传统的理论灌输有着本质的区别。
3. 教材体现了以学生为主，老师为辅的教学思路。通过专业教室与多媒体教学设备的运用，引导学生自学、资料查阅、相互交流，老师只起引导和指导作用。
4. 教材体现了以学习过程进行教学评价，强调学生的过程成绩，彻底打破了期末笔试定成绩的传统。
5. 教材内容充分体现新知识、新技术、新工艺和新方法，突出工艺要领和操作技能的培养，具有超前性和先进性。
6. 根据每门课程的内容和实际教学情况，我们为本系列教材配备了相应的教学资料包，具体包括电子课件、习题答案与指导、程序源代码、教学网站支持等。欢迎各位老师登录华信教育资源网（www.hxedu.com.cn）免费下载。

本套教材力图引领职业教材新方向，开辟和实践课改新思路，全面打造职业教育新理念、新体例。相信本套教材的出版会对高等职业教育的教学改革和人才培养起到积极的推动作用。对于教材中所存在的一些不尽如人意之处，将通过今后的教学实践不断修订、完善和充实，以便更好地服务于高等职业教育。

高等职业教育离不开广大教育工作者的支持，我们诚挚地邀请全国各地的专家、学者加入到我们的教材编写中来，同时，也欢迎各位高职院校的专家和老师提出宝贵意见和建议（邮箱：tianlh@phei.com.cn，电话：010-88254474）。

汇聚天下教育精英，共同打造系列精品高职教材，电子工业出版社高职教育分社愿与大家一道，为我国高职教育的发展贡献自己的责任与义务。

电子工业出版社
高等职业教育分社
2009.6

前 言

教高[2006]14号《教育部 财政部关于实施国家示范性高等职业院校建设计划加快高等职业教育改革与发展的意见》文件指出：“各地要引导示范院校科学合理地调整和设置专业，改革课程体系和教学内容，将职业岗位所需的关键能力培养融入专业教学体系，增强毕业生就业竞争能力；积极改革以课堂和教师为中心的传统教学组织形式，将理论知识学习、实践能力和综合素质提高三者紧密结合起来，提高学生就业能力”；教高[2006]16号《关于全面提高高等职业教育教学质量的若干意见》文件指出：“高等职业院校要积极与行业企业合作开发课程，根据技术领域和职业岗位（群）的任职要求，参照相关的职业资格标准，改革课程体系和教学内容”，以上述文件精神为指导，参考人力资源和社会保障部培训就业司颁发的《数控加工专业教学计划与教学大纲》，并结合《数控程序员国家职业标准》、《数控车工国家职业标准》、《数控铣工国家职业标准》和《加工中心操作工职业标准》，在广泛调研的基础上，组织企业生产一线人员和学校专任教师等共同编写了本书。

本书改变了传统的数控编程教材以指令为主线的章节分配形式，根据行动导向、任务驱动的先进教学理念，以数控加工中的典型加工面为载体，重点突出与操作技能相关的必备专业知识，理论知识以“必需、够用”为原则。在教材内容方面，安排了数控车削编程模块、数控铣削编程模块和数控电火花线切割编程三个模块，三个模块中包含圆柱（锥）面、成形面、螺纹（面）、孔（面）、轮廓（面）、腔槽（面）和模具轮廓面数控加工程序的编制等七个情境，每个情境中设置了若干任务，每个任务的内容相对独立，情境中各任务的难度总体上呈递进关系，情境后配有拓展训练任务，供学生课后训练使用。每个任务按任务书→学习导读→任务解析→任务实施（零件加工工艺分析与编程）→任务学习手记等内容展开。每个任务体现了数控程序员岗位的职业工作过程。任务学习手记用于记录每个任务的学习过程、课后巩固练习和学习结果反馈与评价，可为期末成绩提供参考。

本书适合于行动导向的教学和学生自学，建议采用引导文教学法、角色扮演法（宏观）和“资讯→计划、决策→实施→检查、评估”四步教学法（微观）。无论各情境中零件加工面的复杂程度如何，都要求完成确定的工作任务，并经过资讯、决策和计划、实施、检查及评价这一普适性过程，使学生在完整、综合性的行动中进行思考和学习，培养学生的专业能力、方法能力和社会能力。

为达到高素质技能型人才的培养目标，突出理论实训一体化教学的原则，本书重点突出与操作技能相关的必备专业知识，每个任务以FANUC系统为例提供了参考程序，适合于数控仿真加工实训和机床实操训练，具有较强的针对性和适应性，故本书也适于作为数控加工实训教材。

本书由黑龙江建筑职业技术学院曹井新高级工程师任主编，国家林业局哈尔滨林业机械研究所张丽平、黑龙江建筑职业技术学院陈宝军高级工程师、温红真任副主编，黑龙江建筑职业技术学院金桂霞副教授参与了本书的编写。黑龙江建筑职业技术学院数控06级张永春、杨双伟，机械08级王志强、徐洪波等参与了本书部分文字的编辑工作和多媒体课件的制作工作。

尽管我们在教材建设方面做了许多努力，但由于编者的水平有限，教材中难免存在疏漏和不妥之处，恳请各教学单位和读者多提宝贵意见和建议，以便下次修订时改进。

目 录

数控车削编程模块

情境一 圆柱（锥）面数控加工程序的编制	(3)
任务一 外圆柱面 I 数控加工程序的编制	(3)
任务二 外圆锥面 I 数控加工程序的编制	(11)
任务三 外圆柱面 II 数控加工程序的编制	(18)
任务四 外圆锥面 II 数控加工程序的编制	(22)
任务五 外圆柱（锥）面 I 数控加工程序的编制	(26)
任务六 外圆柱（锥）面 II 数控加工程序的编制	(32)
任务七 窄槽（面）数控加工程序的编制	(37)
任务八 宽槽（面）数控加工程序的编制	(41)
任务九 内、外圆柱面数控加工程序的编制	(45)
任务十 内沟槽（面）数控加工程序的编制	(49)
任务十一 内阶梯孔（面）数控加工程序的编制	(53)
拓展训练任务	(57)
情境二 成形面数控加工程序的编制	(58)
任务十二 凸圆弧面数控加工程序的编制	(58)
任务十三 凹圆弧面数控加工程序的编制	(66)
任务十四 内圆弧面数控加工程序的编制	(70)
任务十五 成形面 I 数控加工程序的编制	(74)
任务十六 成形面 II 数控加工程序的编制	(80)
拓展训练任务	(84)
情境三 螺纹（面）数控加工程序的编制	(85)
任务十七 外圆柱螺纹（面）数控加工程序的编制	(85)
任务十八 外圆锥螺纹（面）I 数控加工程序的编制	(94)
任务十九 内螺纹（面）数控加工程序的编制	(101)
任务二十 外圆锥螺纹（面）II 数控加工程序的编制	(105)
任务二十一 复合外圆面（锥面、柱面、成形面、螺纹面） 数控加工程序的编制	(110)
拓展训练任务	(115)

数控铣削编程模块

情境四 孔（面）数控加工程序的编制	(119)
任务二十二 钻孔（面）数控加工程序的编制	(119)
任务二十三 铣孔（面）数控加工程序的编制	(135)

任务二十四 螺纹孔（面）数控加工程序的编制..... (143)

任务二十五 镗孔（面）数控加工程序的编制..... (148)

拓展训练任务..... (157)

情境五 轮廓（面）数控加工程序的编制..... (158)

任务二十六 大平面数控加工程序的编制..... (158)

任务二十七 台阶面数控加工程序的编制..... (163)

任务二十八 内轮廓（面）数控加工程序的编制..... (167)

任务二十九 外轮廓（面）数控加工程序的编制..... (172)

拓展训练任务..... (176)

情境六 腔槽（面）数控加工程序的编制..... (177)

任务三十 封闭直槽（面）数控加工程序的编制..... (177)

任务三十一 圆弧槽（面）数控加工程序的编制..... (184)

任务三十二 开式沟槽（面）数控加工程序的编制..... (189)

任务三十三 内型腔（面）数控加工程序的编制..... (193)

任务三十四 对称腔槽（面）数控加工程序的编制..... (200)

任务三十五 椭圆腔槽（面）数控加工程序的编制..... (205)

拓展训练任务..... (220)

数控电火花线切割编程模块

情境七 模具轮廓（面）数控电火花线切割加工程序的编制..... (223)

任务三十六 凸模轮廓（面）数控线切割加工程序的编制..... (223)

任务三十七 凸凹模轮廓（面）数控线切割加工程序的编制..... (230)

拓展训练任务..... (238)

附录 A 数控基础知识..... (239)

附录 B 引导文及教学内容实施过程..... (254)

附录 C 课程总评分表..... (255)

附录 D 教师评价表（教师用表）..... (255)

附录 E 学习档案评价表（教师用表）..... (256)

附录 F 学生自我评价及小组评价表（学生用表）..... (256)

附录 G 数控加工操作考核（参考）表..... (257)

参考文献..... (258)

数控车削编程模块

情境一 圆柱（锥）面数控加工程序的编制

情境描述：

圆柱（锥）面（包括内圆柱（锥）面）是轴（套）类零件常见的加工表面。轴类零件是指长度大于直径的旋转体零件；套类零件是指带有内孔的薄壁回转体零件，主要用作旋转体零件的支承和连接配合。

本情境主要学习以下几方面的内容：

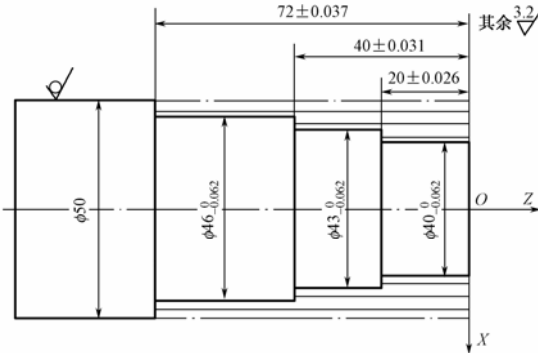
- （1）轴套类零件加工基本编程指令（G00、G01、G02/G03、G93、G04、G71、G73、G70）的使用；
- （2）轴套类零件加工工艺的选择，刀具及切削用量的选择与确定；
- （3）加工轴套类零件的圆柱、圆锥、倒角、沟槽等表面的编程方法。

任务一 外圆柱面Ⅰ数控加工程序的编制

一、项目任务书

外圆柱面数控加工程序的编制项目任务书，见表 1-1。

表 1-1 项目任务书

情境名称	圆柱（锥）面数控加工程序的编制					
学习目标	1. 掌握外圆柱面加工工艺的制定 2. 掌握外圆柱面数控编程技巧与方法					
<div></div>						
零件名称	阶梯轴Ⅰ	材料	45 钢	毛坯尺寸	φ50×100	
任务内容：制定阶梯轴Ⅰ的加工工艺并编制其数控加工程序						
学习指令：快速点定位（G00）、直线插补指令（G01）、S 功能、F 功能、M 功能和 T 功能等编程指令的使用						
备 注						



二、学习导读

1. 数控编程的内容

数控编程的内容主要包括分析图样并确定加工工艺过程、数值计算、编写零件加工程序、程序输入、程序校验和试切削。

(1) 分析图样并确定加工工艺过程：分析图样，根据零件的材料、形状、尺寸、精度、毛坯形状和热处理要求等确定加工方案，选择合适的数控机床。然后确定加工工艺过程，主要考虑：确定加工方案，刀具、工夹具的设计和选择，选择对刀点，确定加工路线，确定切削用量等。

(2) 数值计算：按已确定的加工路线和允许的零件加工误差，计算出所需的输入数控装置的数据。其主要内容是在规定的坐标系内计算零件轮廓和刀具运动的轨迹的坐标值。

(3) 编写零件加工程序：根据所使用数控系统的指令、程序段格式，逐段编写零件加工程序。

(4) 程序输入：将编制好的程序单上的内容输入至数控装置中。

(5) 程序校验和试切削：通常采用空走刀校验、空运转画图校验等。

2. 加工程序段的构成

数控加工程序的编制方法主要有两种：手工编程和自动编程。

手工编程指主要由人工来完成数控编程中各个阶段的工作。一般对几何形状不太复杂的零件，所需的加工程序不长，计算比较简单，用手工编程比较合适。

手工编程的特点是耗费时间较长，容易出现错误，无法胜任复杂形状零件的编程。据国外资料统计，当采用手工编程时，一段程序的编写时间与其在机床上运行加工的实际时间之比，平均约为 30:1，而数控机床不能开动的原因中有 20%~30%是由于加工程序编制困难、编程时间较长造成的。

在数控装置中，程序的记录是由程序号来辨别的，调用某个程序可通过程序号来调出，编辑程序也要首先调出程序号。程序号由 4 位数（1~9999）表示。程序编号方式为 O××××，可以在程序编号的后面注上程序的名字并用括号括起。程序名可用 16 位字符表示，要求有利于理解。程序编号要单独使用一个程序段。

程序段主要是由程序段序号和各种功能指令构成的：

```
N_ G_ X(U)_ Z(W)_ F_ M_ S_ T_;
```

其中 N——程序段序号；

G——准备功能；

X(U), Z(W) ——工件坐标系中 X、Z 轴移动至终点的位置，X、Z 为绝对坐标，U、W 为相对坐标，X、Z 与 U、W 在一个程序段内可以混用；

F——进给功能指令；

M——辅助功能指令；

S——主轴功能指令；

T——刀具功能指令。



3. 加工程序的构成

一个完整的加工程序由若干程序段构成，程序的开头是程序名，结束时写有程序结束指令。例如：

```
O0001; //程序名
N10 G92 X0 Y0 Z200.0;
N20 G90 G00 X50.0 Y60.0 S300 M03;
N30 G01 X10.0 Y50.0 F150 ;
... ..
N110 M30; //程序结束指令
```

其中第一个程序段“O0001”是整个程序的程序号，也叫程序名，由地址码 O 和四位数字组成。每一个独立的程序都应有程序号，它可作为识别、调用该程序的标志。不同的数控系统，程序号地址码可不相同，如 FANUC 系统用 O，AB8400 系统用 P，而西门子系统用 %。编程时应根据说明书的规定使用，否则系统将不接受。每个程序段以程序段号“Nxxxx”开头，用“；”表示程序段结束（有的系统用 LF、CR 等符号表示），每个程序段中有若干个指令字，每个指令字表示一种功能，所以也称功能字。功能字的开头是英文字母，其后是数字，如 G90、G01、X100.0 等。一个程序段表示一个完整的加工工步或加工动作。

一个程序的最大长度取决于数控系统中零件程序存储区的容量。现代数控系统的存储区容量已足够大，一般情况下已足够使用。一个程序段的字符数也有一定的限制，如某些数控系统规定一个程序段的字符数≤90 个，一旦大于限定的字符数，就把它分成两个或多个程序段。

4. 指令应用举例

(1) 快速点定位（G00）指令应用举例

快速点定位指令格式：

```
G00 X__ Z__ ;
G00 U__ W__ ;
```

其中，(X, Z)、(U, W) 为定位点坐标。

【例 1-1】 如图 1-1 所示刀具快速点定位（快速进刀）运动（动作）编程如下：

```
G00 X50.0 Z6.0;
或 G00 U-70.0 W-84.0;
```

G00 指令要求刀具以点位控制方式从刀具所在位置以最快的速度移动到指定位置。它只实现快速移动，并保证在指定的位置停止，在移动时对运动轨迹与运动速度并没有严格的精度要求。如果两坐标轴的脉冲当量和最大速度相等，则运动轨迹是一条 45° 斜线；如果是一条非 45° 斜线，则刀具的运动轨迹可能是一条折线。

使用 G00 时，应注意以下几点。

① G00 是模态指令。例如，由 A 点到 B 点实现快速点定位时，因前面程序段已设定了 G00，所以后面程序段就可不再重复设定定义 G00，只写出坐标值即可。

② 快速点定位移动速度不能用程序指令设定。其速度已由生产厂家预先调定或由引导



程序确定。若在快速点定位程序段前设定了进给速度 F ，则该指令对 $G00$ 程序段无效。

③ 快速点定位指令 $G00$ 的执行过程是，刀具由程序起始点开始加速移动至最大速度，然后保持快速移动，最后减速到达终点，实现快速点定位，这样可以提高数控机床的定位精度。

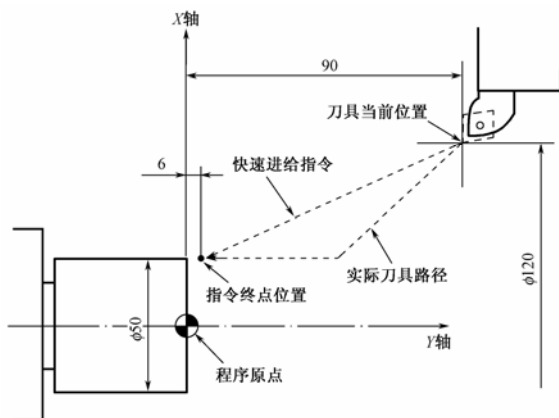


图 1-1 刀具快速点定位

(2) 直线插补 ($G01$) 指令应用举例

直线插补也称直线切削，其特点是刀具以直线插补运算联动方式由某坐标点移动到另一坐标点，移动速度是由进给功能指令 F 设定的。当机床执行 $G01$ 指令时，在该程序段中必须含有 F 指令。 $G01$ 和 F 都是模态指令。

直线插补指令格式：

```
G01 X__ Z__ F__ ;
```

```
G01 U__ W__ F__ ;
```

其中 (X, Z) 、 (U, W) ——直线终点坐标；

F ——进给指令，单位为 mm/r （毫米/转）。

该指令用于直线或斜线运动，可沿 X 轴、 Z 轴方向执行单轴运动，也可沿 XZ 平面内任意斜率的直线运动。

【例 1-2】 如图 1-2 所示外圆柱切削的编程如下：

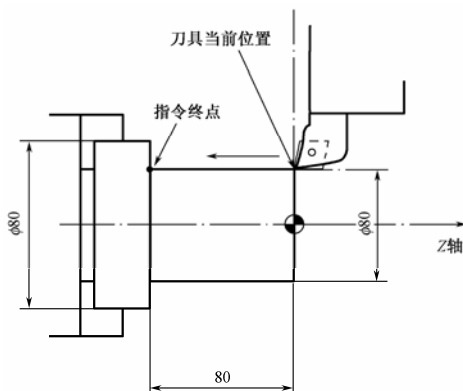


图 1-2 外圆柱切削



G01 X60.0 Z-80.0 F0.3;
或 G01 U0 W-80.0 F0.3;

5. 阶梯轴的形式与车削

阶梯轴可分为低台阶轴和高台阶轴两种形式。与其相对应，阶梯轴的车削方法有低台阶车削法和高台阶车削法两种。当相邻两圆柱体直径差较小时，该阶梯轴为低台阶轴，可由车刀一次切出，如图 1-3（a）所示，其加工路线为 $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow E$ ，这就是低台阶车削法；当相邻两圆柱体直径差较大时，该阶梯轴为高台阶轴，需要采用分层切削，如图 1-3（b）所示，粗加工路线为 $A_1 \rightarrow B_1$ 、 $A_2 \rightarrow B_2$ 、 $A_3 \rightarrow B_3$ ，精加工路线为 $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow E$ ，这就是高台阶车削法。

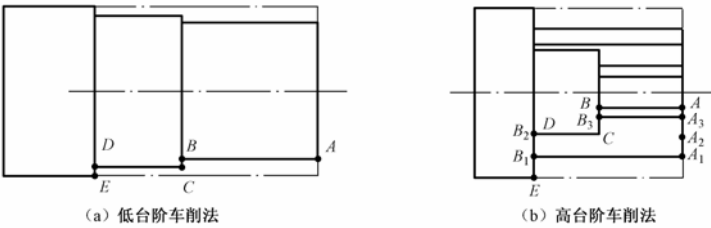


图 1-3 阶梯轴车削方法

切削用量的具体数值可参阅机床说明书、切削用量手册，并结合实际经验而定，表 1-2 是参考了切削用量手册而推荐的切削用量参考表。

表 1-2 切削用量参考表

零件材料及 毛坯尺寸	加工内容	背吃刀量 $a_p/(mm)$	主轴转速 $n/(r/min)$	进给量 $f/(mm/r)$	刀具材料
45 钢， 直径 $\phi 20 \sim 60$ 坯料， 内孔直径 $\phi 13 \sim 20$	粗加工	1~2.5	300~800	0.15~0.4	硬质合金 (YT 类)
	精加工	0.25~0.5	600~1000	0.08~0.2	
	切槽、切断 (切刀宽度 3~5mm)		300~500	0.05~0.1	
	钻中心孔		300~800	0.1~0.2	高速钢
	钻孔		300~500	0.05~0.2	高速钢

各种加工方法所能达到的表面粗糙度数值见表 1-3，供制定加工工艺时参考选用。

表 1-3 各种加工方法所能达到的表面粗糙度数值

加工 方法	粗糙度数值 $R_a (\mu m)$												相当于旧国标表面 光洁度等级
	50	25	12.5	6.3	3.2	1.6	0.8	0.4	0.2	0.1	0.05	0.025	
砂型铸造、热轧		---	---	---									$\nabla 2 \sim \nabla 3$
锻 造			---	---	---	---							$\nabla 3 \sim \nabla 5$
电火花加工				---	---	---	---						$\nabla 4 \sim \nabla 6$
冷轧、拉拔					---	---	---	---	---				$\nabla 5 \sim \nabla 7$
刨、插		---	---	---	---	---	---						$\nabla 2 \sim \nabla 7$
钻 孔				---	---	---	---						$\nabla 4 \sim \nabla 6$
铣 削			---	---	---	---	---	---	---				$\nabla 4 \sim \nabla 7$
车、镗			---	---	---	---	---	---	---	---	---		$\nabla 4 \sim \nabla 8$
拉削、铰孔					---	---	---	---					$\nabla 5 \sim \nabla 7$



续表

加工方法	粗糙度数值 R_a (μm)												相当于旧国标表面光洁度等级
	50	25	12.5	6.3	3.2	1.6	0.8	0.4	0.2	0.1	0.05	0.025	
磨 削					---	---	---	---	---	---	---	---	$\nabla 6 \sim \nabla 10$
抛 光								---	---	---	---	---	$\nabla 8 \sim \nabla 10$
研 磨								---	---	---	---	---	$\nabla 8 \sim \nabla 11$

注：① 实线为平常使用，虚线为不常使用；
② 表中最后一栏为平常使用的值与表面光洁度等级的大致对应关系。

三、任务解析

该零件由不同的外圆柱面组成，有一定的尺寸精度和表面粗糙度要求。零件材料为 45 钢，切削加工性能较好，无热处理和硬度要求。

加工工艺路线：装夹→对刀→设置编程原点为零件右端面中心→粗车 $\phi 46$ 、 $\phi 43$ 、 $\phi 40$ 外圆→留 1mm 精车余量→精车 $\phi 40$ 、 $\phi 43$ 、 $\phi 46$ 各段外圆及端面至要求尺寸。

编程过程中对具有公差的尺寸计算如下：

$$\phi 46 \text{ 外圆编程尺寸} = \left(46 + \frac{0 + (-0.062)}{2} \right) \text{mm} = 45.969\text{mm}$$

同理， $\phi 43$ 外圆编程尺寸=42.969mm

$\phi 40$ 外圆编程尺寸=39.969mm

$$20 \text{ 长度编程尺寸} = \left(20 + \frac{(+0.026) + (-0.062)}{2} \right) \text{mm} = 20\text{mm}$$

同理，40、72 长度编程尺寸均为原值。

四、任务实施（零件加工工艺分析与编程）

1. 工装

采用三爪自定心卡盘夹紧零件毛坯的外圆周面。

2. 刀具选择

选用硬质合金 90° 偏刀，置于 T01 号刀位，数控加工刀具卡片见表 1-4。

表 1-4 数控加工刀具卡片

产品名称或代号		×××		零件名称		阶梯轴 I		零件图号		×××	
序号	刀具号	刀具规格名称		数量	加工表面		刀尖半径 <i>R</i> /mm	刀尖方位 <i>T</i>		备注	
1	T01	硬质合金 90° 外圆车刀		1	粗车φ46、φ43、φ40 外圆			3	右偏刀		
					精车φ40、φ43、φ46 各段外圆				右偏刀		
编制		×××	审核	×××	批准		×××		共 页	第 页	

3. 制作加工工艺卡

阶梯轴 I 加工工步及切削用量列于加工工艺卡中，见表 1-5。



表 1-5 阶梯轴 I 加工工艺卡

单位名称	×××		产品名称或代号		零件名称		零件图号	
			×××		阶梯轴 I		×××	
工序号	程序编号		夹具名称		使用设备		车间	
001	×××		三爪自定心卡盘		数控车床		×××	
工步号	工步内容		刀具号	刀具规格 (mm)	主轴转速 $n/(r/min)$	进给速度 $f/(mm/r)$	背吃刀量 $a_p/(mm)$	备注
1	装夹, 找正							手动
2	对刀, 右端面中心为编程原点		T01	25×25				手动
3	粗车 $\phi 46$ 、 $\phi 43$ 、 $\phi 40$ 外圆, 留 1mm 精车余量		T01	25×25	500	0.3	1.5	自动
4	精车 $\phi 40$ 、 $\phi 43$ 、 $\phi 46$ 各段外圆及端面至要求尺寸		T01	25×25	800	0.1	0.5	自动
编制	×××	审核	×××	批准	×××	年 月 日	共 页	第 页

4. 程序编制

阶梯轴 I 数控加工程序清单见表 1-6。

表 1-6 阶梯轴 I 数控加工程序清单

程序号: O0001		
程序段号	程序内容	程序说明
N10	G97 G99 M03 S500;	设主轴正转, 转速为 500 r/min
N20	T0101;	用 90° 偏刀, 于 T01 刀位
N30	M08;	打开切削液
N40	G00 X47.0 Z2.0;	快速进刀, 准备粗车 $\phi 46$ 外圆
N50	G01 Z-72.0 F0.3;	粗车 $\phi 46$ 外圆, 设进给量 0.3 mm/r
N60	G00 X48.0 Z2.0;	快速退刀
N70	X44.0;	快速进刀, 准备粗车 $\phi 43$ 外圆
N80	G01 Z-40.0;	粗车 $\phi 43$ 外圆
N90	G00 X45.0 Z2.0;	快速退刀
N100	X41.0;	快速进刀, 准备粗车 $\phi 40$ 外圆
N110	G01 Z-20.0;	粗车 $\phi 40$ 外圆
N120	G00 X42.0 Z2.0;	快速退刀
N130	X39.969 S800;	快速进刀, 设主轴转速为 800 r/min, 准备精车 $\phi 40$ 外圆
N140	G01 Z-20.0 F0.1;	精车 $\phi 40$ 外圆至要求尺寸, 设进给量 0.1mm/r
N150	X42.969;	精车 $\phi 43$ 端面至要求尺寸
N160	Z-40.0;	精车 $\phi 43$ 外圆至要求尺寸
N170	X45.969;	精车 $\phi 46$ 端面至要求尺寸
N180	Z-72.0;	精车 $\phi 46$ 外圆至要求尺寸
N190	X50.0;	精车 $\phi 50$ 端面至要求尺寸
N200	G00 X200.0 Z100.0;	快速退刀, 回换刀点
N210	M30;	程序结束



五、任务学习手记（见表 1-7）

表 1-7 任务学习手记

学生姓名		第____组	组名	
同组人姓名				
任务学习与执行过程				
学习体会				
巩固练习				
个人自评	本人签名：_____			
小组评价	组长签名：_____			
教师评价	教师签名：_____			

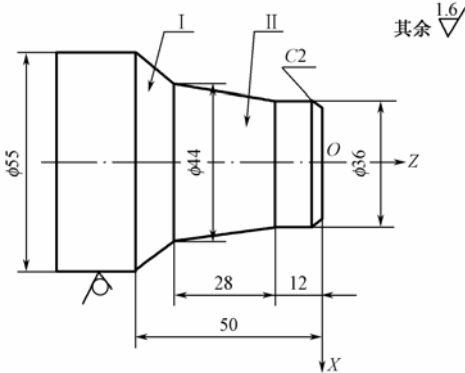


任务二 外圆锥面 I 数控加工程序的编制

一、项目任务书

外圆锥面 I 数控加工程序的编制项目任务书，见表 2-1。

表 2-1 项目任务书

情境名称	圆柱（锥）面数控加工程序的编制				
学习目标	1. 掌握外圆锥面加工工艺的制定 2. 掌握外圆锥面数控编程技巧与方法				
<div></div>					
零件名称	阶梯轴 II	材料	45 钢	毛坯尺寸	$\phi 55 \times 75$
任务内容：制定阶梯轴 II 的加工工艺并编制其数控加工程序					
学习指令：刀尖圆弧半径补偿的建立（G41/G42）或取消（G40）指令					
备注					

二、学习导读

1. 刀尖圆弧半径补偿

编制数控车床加工程序时，通常将车刀刀尖看做一个点。然而在实际应用中，为了提高刀具寿命和降低加工表面的粗糙度，一般将车刀刀尖磨成半径约为 0.4~1.6mm 的圆弧。如图 2-1 所示，编程时以理论刀尖点 P （又称刀位点或假想刀尖点：沿刀片圆角切削刃作 X 、 Z 两方向切线相交于 P 点）来编程，数控系统控制 P 点的运动轨迹，而切削时，实际起作用的切削刃是圆弧的各切点，这势必会产生加工表面的形状误差。而刀尖圆弧半径补偿功能就是用来补偿此误差的。

切削工件的右端面时，车刀圆弧的切点 A 与理论刀尖点 P 的 Z 坐标值相同；车外圆时车刀圆弧的切点 B 与点 P 的 X 坐标值相同。切削出的工件没有形状误差和尺寸误差，因此可以不考虑刀尖圆弧半径补偿。如果车削外圆柱面后继续车削圆锥面，则必存在加工误差 BCD （误差值为刀尖圆弧半径），这一加工误差必须靠刀尖圆弧半径补偿的方法来修正。

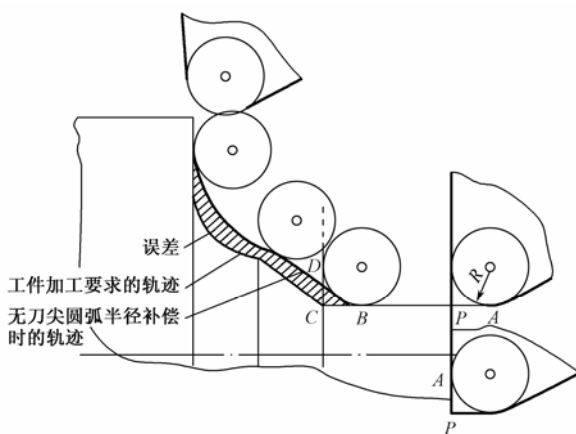


图 2-1 刀尖圆弧半径对加工精度的影响

车削圆锥面和圆弧面部分时，仍然以理论刀尖点 P 来编程，刀具运动过程中与工件接触的各切点轨迹为图 2-1 中所示无刀尖圆弧半径补偿时的轨迹。该轨迹与工件加工要求的轨迹之间存在着图 2-1 中斜线部分的误差，直接影响到工件的加工精度，而且刀尖圆弧半径越大，加工误差越大。可见，对刀尖圆弧半径进行补偿是十分必要的。当采用刀尖圆弧半径补偿时，车削出的工件轮廓就是图 2-1 中所示工件加工要求的轨迹。

2. 实现刀尖圆弧半径补偿功能的准备工作

在加工工件之前，要把刀尖圆弧半径补偿的有关数据输入到存储器中，以便使数控系统对刀尖的圆弧半径所引起的误差进行自动补偿。

(1) 刀尖半径。工件的形状与刀尖半径的大小有直接关系，必须将刀尖圆弧半径 R 输入到存储器中，如图 2-2 所示。

刀具补偿号	刀具位置	刀尖圆弧半径		刀尖方位
		补偿值		
	X	Z	R	T
01	0.96	-1.53	0.8	3
02				
03				
⋮				

图 2-2 CRT 显示屏显示刀具补偿参数

(2) 车刀的形状和位置参数。车刀的形状很多，它能决定刀尖圆弧所处的位置，因此也要把代表车刀形状和位置的参数输入到存储器中。将车刀的形状和位置参数称为刀尖方位 T 。车刀的形状和位置如图 2-3 所示，分别用参数 $0\sim9$ 表示， P 点为理论刀尖点。图 2-3 左下角的刀尖方位 T 应为 3。

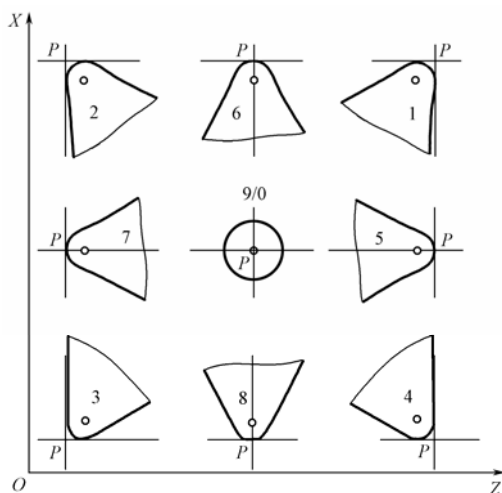


图 2-3 车刀的形状和位置

(3) 参数的输入。与每个刀具补偿号相对应有一组 X 和 Z 的刀具位置补偿值、刀尖圆弧半径 R 及刀尖方位 T 值。输入刀尖圆弧半径补偿值，就是要将参数 R 和 T 输入到存储器中。例如，某程序中编入下面的程序段：

```
N100 G00 G42 X100.0 Z3.0 T0101;
```

若此时输入刀具补偿号为 01 的参数，则 CRT 屏幕上显示图 2-2 的内容。在自动加工工件的过程中，数控系统将按照 01 刀具补偿栏内的 X 、 Z 、 R 、 T 的数值，自动修正刀具的位置误差和自动进行刀尖圆弧半径的补偿。

3. 刀尖圆弧半径补偿的方向

在进行刀尖圆弧半径补偿时，刀具和工件的相对位置不同，刀尖圆弧半径补偿的指令也不同。如图 2-4 所示，为刀尖圆弧半径补偿的两种不同方向。

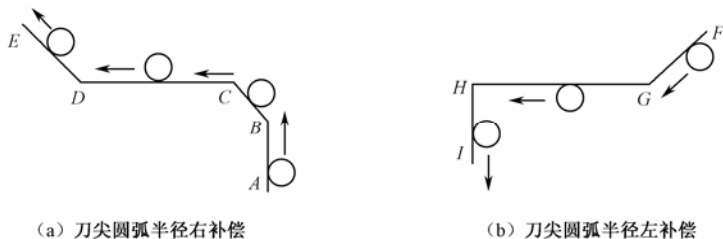


图 2-4 刀尖圆弧半径补偿方向

如果刀尖沿 $ABCDE$ 运动（如图 2-4 (a) 所示），则顺着刀尖运动方向看，刀具在工件的右侧，即为刀尖圆弧半径右补偿，用 $G42$ 指令。如果刀尖沿 $FGHI$ 运动（如图 2-4 (b) 所示），则顺着刀尖运动方向看，刀具在工件的左侧，即为刀尖圆弧半径左补偿，用 $G41$ 指令。如果取消刀尖圆弧半径补偿，可用 $G40$ 指令编程，则车刀按理论刀尖点轨迹运动。



4. 指令应用举例

刀尖圆弧半径补偿的建立指令为 G41/G42，取消指令为 G40。

格式：

```
G41/G42/G40 G00 /G01 X(U)___ Z(W)___ T___ F___;
```

G40：取消刀补，通常写在程序开始的第一个程序段及取消刀具半径补偿的程序段。

G41：刀具左补偿，在编程路径前进方向上，刀具沿左侧进给，使用该指令。

G42：刀具右补偿，在编程路径前进方向上，刀具沿右侧进给，使用该指令。

刀具功能又称为 T 功能，它是进行刀具选择和刀具补偿的功能。

格式：

```
T × × × × ;
```

前两位数字为刀具号；后两位数字为刀具补偿号。其中 00 表示取消某号刀的刀具补偿。例如，T0101 表示 01 号刀调用 01 补偿号设定的补偿值，其补偿值存储在刀具补偿存储器内。又如，T0700 表示调用 07 号刀，并取消 07 号刀的补偿值。



说明

① 刀尖圆弧半径补偿的建立或取消必须在位移移动指令（G00、G01）中进行。G41、G42、G40 均为模态指令。

② 刀尖圆弧半径补偿和刀具位置补偿一样，其实现过程分为三大步骤，即刀具补偿的建立、刀具补偿的执行和刀具补偿的取消。

在设置刀尖圆弧自动补偿值时，还要设置刀尖圆弧位置编码，指定编码值的方法参考图 2-3。

【例 2-1】 应用刀尖圆弧自动补偿功能加工图 2-5 所示零件。

```
刀尖位置编码: 3  
N10 G00 X200 Z175 T0101;  
N20 M03 S1500;  
N30 G00 G42 X58 Z10 M08;  
N40 G96 S200;  
N50 G01 Z0 F1.5;  
N60 X70 F0.2;  
N70 X78 Z-4;  
N80 X83;  
N90 X85 Z-5;  
N95 Z-15;  
N100 G02 X91 Z-18 R3 F0.15 (参考圆弧插补指令);  
N110 G01 X94;
```



```

N120 X97 Z-19.5;
N130 X100;
N140 G00 G40 G97 X200 Z175 S1000;
N150 M30;
    
```

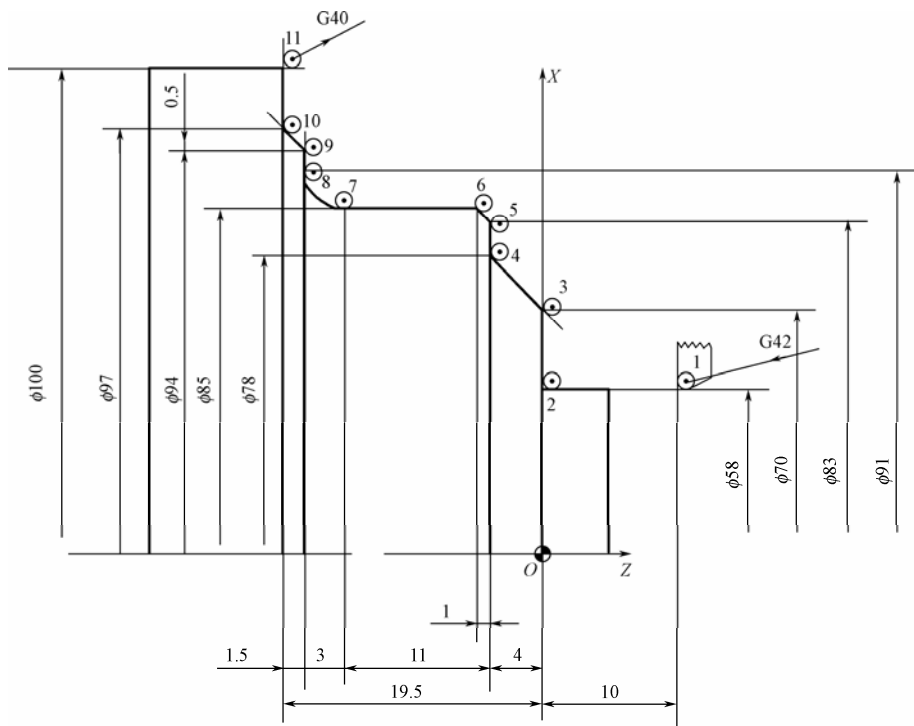


图 2-5 刀具补偿编程

三、任务解析

该零件由外圆柱面及外圆锥面组成，有较高的表面粗糙度要求。零件材料为 45 钢，切削加工性能较好，无热处理和硬度要求。

加工工艺路线：装夹→对刀→设置编程原点为零件右端面中心→粗车 $\phi 36$ 外圆及各段锥面倒角→精车 $\phi 36$ 外圆及各段锥面。

四、任务实施（零件加工工艺分析与编程）

1. 工装

采用三爪自定心卡盘夹紧零件的外圆周面。

2. 刀具选择

选硬质合金 93° 偏刀，用于粗、精加工零件各面。刀尖半径 $R=0.4\text{mm}$ ，刀尖方位 $T=3$ ，置于 T01 刀位。数控加工刀具卡片见表 2-2。



表 2-2 数控加工刀具卡片

产品名称或代号		×××	零件名称		阶梯轴Ⅱ		零件图号	×××
序号	刀具号	刀具规格名称		数量	加工表面	刀尖半径 R/mm	刀尖方位 T	备注
1	T01	硬质合金 93° 偏刀		1	φ36 外圆及各段锥面，倒角	0.4	3	右偏刀
编制		×××	审核	×××	批准	×××	共 页	第 页

3. 制作加工工艺卡

由于背吃刀量较大，因此由表 1-2 选用较小的进给量和主轴转速。阶梯轴Ⅱ加工工步及切削用量列于加工工艺卡中，见表 2-3。

表 2-3 阶梯轴Ⅱ加工工艺卡

单位名称	×××		产品名称或代号		零件名称		零件图号	
			×××		阶梯轴Ⅱ		×××	
工序号	程序编号		夹具名称		使用设备		车间	
001	×××		三爪自定心卡盘		数控车床		×××	
工步号	工步内容		刀具号	刀具规格 (mm)	主轴转速 n/(r/min)	进给速度 f/(mm/r)	背吃刀量 a _p /(mm)	备注
1	装夹，找正							手动
2	对刀，设置编程原点为零件右端面中心		T01	25×25				手动
3	粗车φ36 外圆及各段锥面		T01	25×25	500	0.25	≤2	自动
4	倒角，精车φ36 外圆及各段锥面		T01	25×25	800	0.1	0.5	自动
编制	×××	审核	×××	批准	×××	年 月 日		共 页 第 页

4. 程序编制

阶梯轴Ⅱ数控加工程序清单见表 2-4。

表 2-4 阶梯轴Ⅱ数控加工程序清单

程序号：O0002		
程序段号	程序内容	程序说明
N10	G40 G97 G99 M03 S500;	取消刀具补偿，主轴正转，转速 500r/min
N20	T0101;	换 01 号刀到位
N30	M08;	打开冷却液
N40	G42 G00 X51.0 Z2.2;	建立刀具右补偿，刀具快进，准备粗车φ44 外圆第一刀
N50	G01 Z-40.0 F0.25 ;	粗车φ44 外圆第一刀，进给量 0.25mm/r
N60	X55.0 Z-50.0;	粗车圆锥Ⅰ 第一刀
N70	G00 Z2.0;	快速退刀
N80	X47.0;	快速进刀，准备粗车φ44 外圆第二刀
N90	G01 Z-40.0;	粗车φ44 外圆第二刀
N100	X55.0 Z-50.0;	粗车圆锥Ⅰ 第二刀
N110	G00 Z2.0;	快速退刀
N120	X45.0;	快速进刀，准备粗车φ44 外圆第三刀
N130	G01 Z-40.0;	粗车φ44 外圆第三刀



续表

程序号：O0002		
程序段号	程序内容	程序说明
N140	X55.0 Z-50.0;	粗车圆锥Ⅰ第三刀
N150	G00 Z2.0;	快速退刀
N160	X41.0;	快速进刀，准备粗车 $\phi 36$ 外圆第一刀
N170	G01 Z-12.0;	粗车 $\phi 36$ 外圆第一刀
N180	X45.0 Z-40.0;	粗车圆锥Ⅱ第一刀
N190	G00 Z2.0;	快速退刀
N200	X37.0;	快速进刀，准备粗车 $\phi 36$ 外圆第二刀
N210	G01 Z-12.0;	粗车 $\phi 36$ 外圆第二刀
N220	X45.0 Z-40.0;	粗车圆锥Ⅱ第二刀
N230	G00 Z2.0;	快速退刀
N240	X0.0;	快速进刀准备车端面
N250	G01 Z0.0;	慢速进刀至端面
N260	X32.0 F0.1;	车端面，设进给量 0.1 mm/r
N270	X36.0 Z-2.0 S800;	车倒角，设主轴转速 800r/min，准备精车
N280	Z-12.0;	精车 $\phi 36$ 外圆
N290	X44.0 Z-40.0;	精车锥面Ⅰ
N300	X55.0 Z-50.0;	精车锥面Ⅱ
N310	G40 G01 X56.0;	取消刀具补偿
N320	G00 X200.0 Z100.0;	回换刀点
N330	M30;	程序结束

五、任务学习手记（见表 2-5）

表 2-5 任务学习手记

学生姓名		第____组	组名	
同组人姓名				
任务 学习 与执 行过 程				
学习 体会				
巩固 练习				
个人 自评	本人签名：_____			
小组 评价	组长签名：_____			
教师 评价	教师签名：_____			

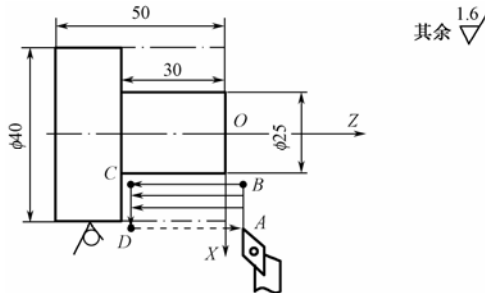


任务三 外圆柱面Ⅱ数控加工程序的编制

一、项目任务书

外圆柱面数控加工程序的编制项目任务书，见表 3-1。

表 3-1 项目任务书

情境名称	圆柱（锥）面数控加工程序的编制				
学习目标	1. 掌握外圆柱面的加工工艺 2. 掌握外圆柱面编程技巧与方法				
<div></div>					
零件名称	阶梯轴Ⅲ	材料	45 钢	毛坯尺寸	$\phi 40 \times 60$
任务内容：制定阶梯轴Ⅲ的加工工艺并编制其数控加工程序					
学习指令：简单固定循环指令（G90）					
备注					

二、学习导读

单一固定循环可以将一系列连续加工动作，如“切入→切削→退刀→返回”，用一个循环指令完成，从而简化程序。圆柱面或圆锥面切削循环是一种单一固定循环，圆柱面单一固定循环如图 3-1 所示。

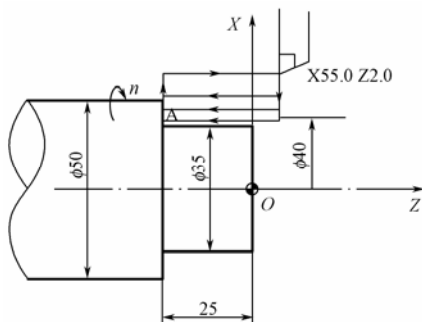


图 3-1 圆柱面单一固定循环



圆柱面切削循环指令为 G90。

指令格式：

G90 X(U) __ Z(W) __ F__ ；

其中 X、Z——圆柱面切削的终点坐标值；
U、W——圆柱面切削的终点相对于循环起点的坐标分量。

【例 3-1】 应用圆柱面切削循环功能加工图 3-1 所示零件。

```
N10 G50 X200 Z200 T0101;
N20 M03 S1000;
N30 G00 X55 Z4 M08;
N40 G01 G96 Z2 F2.5 S150;
N50 G90 X45 Z-25 F0.2;
N60 X40;
N70 X35;
N80 G00 X200 Z200;
N90 M30;
```

三、任务解析

对于加工余量较大的毛坯，刀具常常反复执行相同的动作，需要编写很多相同或相似的程序段。而利用上述简单固定循环指令（G90）对本任务进行编程可以使编程工作大大简化。用一个循环指令即可完成“切入→切削→退刀→返回”等连续动作。

加工工艺路线：对刀→设置编程原点为零件右端面中心→粗车外圆→精车外圆。

四、任务实施（零件加工工艺分析与编程）

1. 工装

采用三爪自定心卡盘夹紧零件的外圆周面。

2. 刀具选择

数控加工刀具卡片见表 3-2。

表 3-2 数控加工刀具卡片

产品名称或代号		×××		零件名称		阶梯轴Ⅲ		零件图号	×××
序号	刀具号	刀具规格名称		数量	加工表面	刀尖半径 R/ mm		刀尖方位 T	备注
1	T01	硬质合金 90° 偏刀		1	φ25 外圆面	0.4		3	右偏刀
编制		×××	审核	×××	批准	×××		共 页	第 页



3. 制作加工工艺卡

由于背吃刀量较大，因此由表 1-2 选用较小的进给量和主轴转速。阶梯轴Ⅲ加工工步及切削用量列于加工工艺卡中，见表 3-3。

表 3-3 阶梯轴Ⅲ加工工艺卡

单位名称		×××		产品名称或代号		零件名称		零件图号	
				×××		阶梯轴Ⅲ		×××	
工序号		程序编号		夹具名称		使用设备		车间	
001		×××		三爪自定心卡盘		数控车床		×××	
工步号	工步内容			刀具号	刀具规格 (mm)	主轴转速 $n/(r/min)$	进给速度 $f/(mm/r)$	背吃刀量 $a_p/(mm)$	备注
1	装夹毛坯 $\phi 50$ 外圆，外伸50mm，找正								手动
2	对刀，设置编程原点为零件右端面中心			T01	25×25				手动
3	粗车 $\phi 25$ 外圆面			T01	25×25	300	0.2	≤2.5	自动
4	精车 $\phi 25$ 外圆面			T01	25×25	800	0.1	0.25	自动
编制		×××	审核	×××	批准	×××	年 月 日		共 页 第 页

4. 程序编制

阶梯轴Ⅲ数控加工程序清单见表 3-4。

表 3-4 阶梯轴Ⅲ数控加工程序清单

程序号：O0003		
程序段号	程序内容	程序说明
N10	G40 G97 G99 M03 S300;	取消刀补，设主轴正转，转速为 300 r/min
N20	T0101;	换 90° 偏刀到位
N30	M08;	打开切削液
N40	G42 G00 X40.0 Z2.0;	建立刀具右补偿，快速进刀至循环起点 A 点
N50	G90 X35.0 Z-30.0 F0.2;	外圆切削循环一次，设进给量 0.2 mm/r
N60	X30.0;	外圆切削循环二次
N70	X25.5;	外圆切削循环三次
N80	G00 X25.0 Z2.0 S800;	快速进刀，设主轴转速 800 r/min，准备精车
N90	G01 Z-30.0 F0.1;	精车 $\phi 25$ 外圆至要求尺寸，设进给量 0.1 mm/r
N100	X40;	精车 $\phi 40$ 右端面
N110	G40 G00 X41.0;	取消刀具补偿
N120	G00 X200.0 Z100.0;	快速回换刀点
N130	M30;	程序结束



五、任务学习手记（见表 3-5）

表 3-5 任务学习手记

学生姓名		第_____组	组名	
同组人姓名				
任务学习与执行过程				
学习体会				
巩固练习				
个人自评	本人签名：_____			
小组评价	组长签名：_____			
教师评价	教师签名：_____			

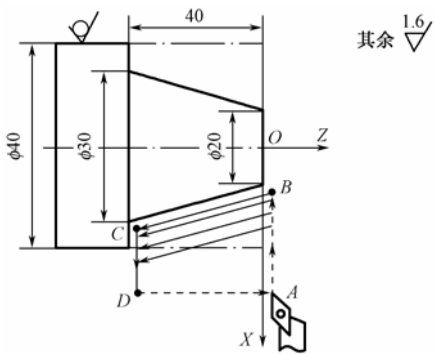


任务四 外圆锥面Ⅱ数控加工程序的编制

一、项目任务书

外圆锥面数控加工程序的编制项目任务书，见表 4-1。

表 4-1 项目任务书

情景名称	圆柱（锥）面数控加工程序的编制				
学习目标	<div>1. 掌握阶梯轴的加工工艺</div> <div>2. 掌握阶梯轴编程技巧与方法</div>				
<div></div>					
零件名称	阶梯轴Ⅳ	材料	45 钢	毛坯尺寸	φ40×70
任务内容：制定阶梯轴Ⅳ的加工工艺并编制其数控加工程序					
学习指令：简单固定循环指令（G90）					
备注					

二、学习导读

圆锥面切削循环指令为 G90。

指令格式：

G90 X(U) _ Z(W) _ I _ F _ ；

其中 X、Z——圆锥面切削的终点坐标值；

U、W——圆锥面切削的终点相对于循环起点的坐标；

I——圆锥面切削的起点相对于终点的半径差。如果切削起点的 X 向坐标小于终点的 X 向坐标，则 I 值为负，反之为正。

【例 4-1】 应用圆锥面切削循环功能加工图 4-1 所示零件。



.....

```
G01 X65 Z2 G90 X60 Z-35 I-5 F0.2;
X50;
G00 X100 Z200;
.....
```

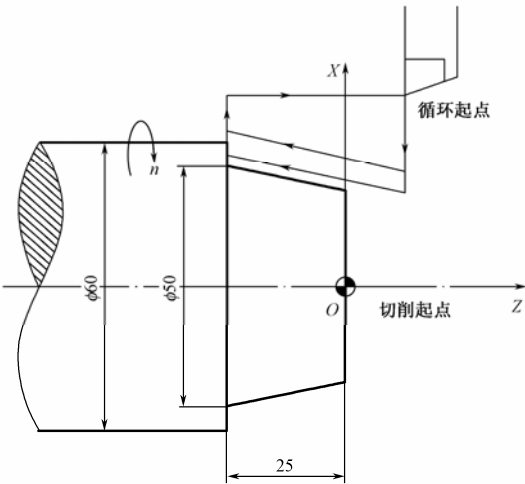


图 4-1 圆锥面单一固定循环

三、任务解析

为简化编程，应用固定循环指令（G90）对本任务进行编程。关键尺寸 R 的计算公式为

$$R=(X_{起}-X_{终})/2=(20-30)/2\text{ mm}=-5\text{mm}$$

加工工艺路线：装夹→对刀→设置编程原点为零件右端面中心→粗车锥面→精车锥面。

四、任务实施（零件加工工艺分析与编程）

1. 工装

采用三爪自定心卡盘夹紧零件的外圆周面。

2. 刀具选择

数控加工刀具卡片见表 4-2。

表 4-2 数控加工刀具卡片

产品名称或代号		×××		零件名称	阶梯轴Ⅳ		零件图号	×××
序号	刀具号	刀具规格名称		数量	加工表面	刀尖半径 R/mm	刀尖方位 T	备注
1	T01	硬质合金 90° 偏刀		1	锥面	0.4	3	右偏刀
编制		×××	审核	×××	批准	×××	共 页	第 页



3. 制作加工工艺卡

阶梯轴Ⅳ加工工步及切削用量列于加工工艺卡中，见表 4-3。

表 4-3 阶梯轴Ⅳ加工工艺卡

单位名称		×××		产品名称或代号		零件名称		零件图号	
				×××		阶梯轴Ⅳ		×××	
工序号		程序编号		夹具名称		使用设备		车间	
001		×××		三爪自定心卡盘		数控车床		×××	
工步号	工步内容			刀具号	刀具规格 (mm)	主轴转速 $n/(r/min)$	进给速度 $f/(mm/r)$	背吃刀量 $a_p/(mm)$	备注
1	装夹毛坯 $\phi 40$ 外圆，外伸60mm，找正								手动
2	对刀，设置编程原点为零件右端面中心			T01	25×25				手动
3	粗车锥面			T01	25×25	300	0.2	≤2.5	自动
4	精车锥面			T01	25×25	800	0.1	0.25	自动
编制		×××	审核	×××	批准	×××	年 月 日		共 页 第 页

4. 程序编制

阶梯轴Ⅳ数控加工程序清单见表 4-4。

表 4-4 阶梯轴Ⅳ数控加工程序清单

程序号：O0004		
程序段号	程序内容	程序说明
N10	G40 G97 G99 M03 S300;	取消刀补，设主轴正转，转速为 300 r/min
N20	T0101;	换 90° 偏刀到 01 号刀位
N30	M08;	打开切削液
N40	G42 G00X45.0 Z0.5;	建立刀具右补偿，快速进刀至循环起点 A 点
N50	G90 X41.0 Z-40.0 R-5.0 F0.2;	锥面切削循环第一次
N60	X37.0;	锥面切削循环第二次
N70	X33.0;	锥面切削循环第三次
N80	X30.5;	锥面切削循环第四次
N90	G00 X20.0 Z2.0;	快速进刀
N100	G01 Z0.0 S800;	慢速进刀至精加工起点，设主轴转速为 800 r/min 准备精加工
N110	X30.0 Z-40.0 F0.1;	切削锥面至要求尺寸
N130	X40.0;	切削 $\phi 30$ 端面至要求尺寸
N140	G40 G00 X41.0;	取消刀具补偿
N150	G00 X200.0 Z100.0;	快速回换刀点
N160	M30;	程序结束



五、任务学习手记（见表 4-5）

表 4-5 任务学习手记

学生姓名		第_____组	组名	
同组人姓名				
任务学习与执行过程				
学习体会				
巩固练习				
个人自评	本人签名：_____			
小组评价	组长签名：_____			
教师评价	教师签名：_____			

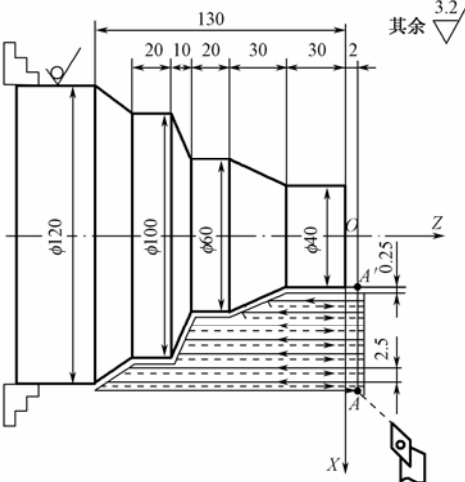


任务五 外圆柱（锥）面Ⅰ数控加工程序的编制

一、项目任务书

外圆柱（锥）面数控加工程序的编制项目任务书，见表 5-1。

表 5-1 项目任务书

情境名称	圆柱（锥）面数控加工程序的编制				
学习目标	1. 掌握外圆柱（锥）面的加工工艺 2. 掌握外圆柱（锥）面数控编程技巧与方法				
<div></div>					
零件名称	阶梯轴 V	材料	45 钢	毛坯尺寸	φ120×160
任务内容：制定阶梯轴 V 的加工工艺并编制其数控加工程序					
学习指令：外圆粗车循环指令（G71），精加工循环指令（G70）					
备注					

二、学习导读

使用复合固定循环指令 G71、G70 对零件的轮廓定义之后，即可完成从粗加工到精加工的全过程，使程序得到进一步简化。

1. 外圆粗车循环指令G71

外圆粗车循环是一种复合固定循环，适用于外圆柱面需多次走刀才能完成的粗加工，



如图 5-1 所示。

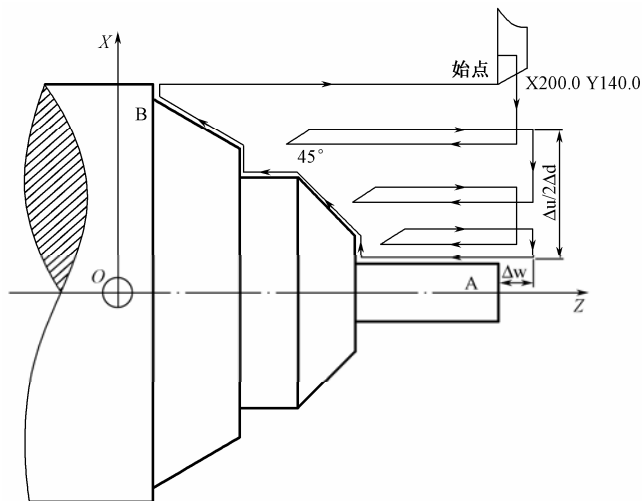


图 5-1 外圆粗车循环

指令编程格式：

G71 U(Δd) __ R(e) __ ；

G71 P(ns) __ Q(nf) __ U(Δu) __ W(Δw) __ F(f) __ S(s) __ T(t) __ ；

其中 Δd ——背吃刀量；

e ——退刀量；

ns——精加工轮廓程序段中开始程序段的段号；

nf——精加工轮廓程序段中结束程序段的段号；

Δu ——X 轴向精加工余量；

Δw ——Z 轴向精加工余量；

f、s、t——F、S、T 代码。



说明

- ① ns→nf 程序段中的 F、S、T 功能，即使被指定也对粗车循环无效；
- ② 零件轮廓必须在 X 轴、Z 轴方向同时单调增大或单调减少；X 轴、Z 轴方向非单调时，ns→nf 程序段中第一条指令必须在 X 轴、Z 轴方向同时有运动。

【例 5-1】 按图 5-2 所示尺寸编写外圆粗车循环加工程序。

```
N10 G50 X200 Z140 T0101;
N20 G00 G42 X120 Z10 M08;
N30 G96 S120;
N40 G71 U2 R0.5;
N50 G71 P60 Q120 U2 W2 F0.25;
```



```
N60 G00 X40;                //ns
N70 G01 Z-30 F0.15;
N80 X60 Z-60;
N90 Z-80;
N100 X100 Z-90;
N110 Z-110;
N120 X120 Z-130;            //nf
N130 G00 X125;
N140 X200 Z140;
N150 M02;
```

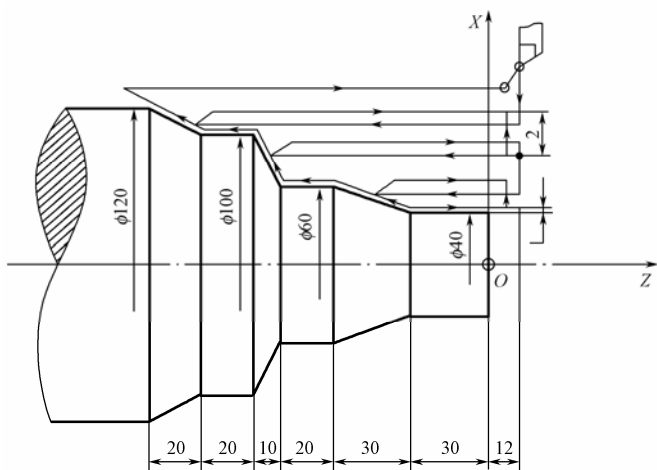


图 5-2 G71 程序例图

2. 外圆精车循环指令G70

由 G71、G72、G73 完成粗加工后，可以用 G70 进行精加工。精加工时，G71、G72、G73 程序段中的 F、S、T 指令无效，只有 ns→nf 程序段中的 F、S、T 指令才有效。

指令编程格式：

```
G70 P(ns) __ Q(nf) __ ;
```

其中 ns——精加工轮廓程序段中开始程序段的段号；

nf——精加工轮廓程序段中结束程序段的段号。

【例 5-2】 在 G71、G72、G73 程序应用例子中的 nf 程序段后再加上 “G70 P(ns) Q(nf)” 程序段，并在 ns→nf 程序段中加上精加工适用的 F、S、T，就可以完成从粗加工到精加工的全过程。



```
... ..
N50 G71 P60 Q120 U2 W2 F0.25;
N60 G00 X40;                               //ns
N70 G01 Z-30 F0.15;
N80 X60 Z-60;
N90 Z-80;
N100 X100 Z-90;
N110 Z-110;
N120 X120 Z-130;                           //nf
N130 G70 P60 Q120;
... ..
```

三、任务解析

复合固定循环指令可将多次重复动作用一个程序段来表示，只要在程序中给出最终走刀轨迹及重复切削次数，系统便会自动重复切削，直到加工完成。本任务中零件表面尺寸呈单调增加趋势，故采用外圆粗车循环指令（G71）和外圆精车循环指令（G70）进行编程。

加工工艺路线：装夹→对刀→设置编程原点为零件右端面中心→粗车各段外圆及锥面→精车各段外圆及锥面。

四、任务实施（零件加工工艺分析与编程）

1. 工装

采用三爪自定心卡盘夹紧零件的外圆周面。

2. 刀具选择

数控加工刀具卡片见表 5-2。

表 5-2 数控加工刀具卡片

产品名称或代号		×××		零件名称	阶梯轴 V		零件图号	×××
序号	刀具号	刀具规格名称		数量	加工表面	刀尖半径 R/ mm	刀尖方位 T	备注
1	T01	硬质合金 90° 偏刀		1	各段外圆及锥面	0.4	3	右偏刀
编制		×××	审核	×××	批准	×××	共 页	第 页

3. 制作加工工艺卡

计算主轴转速，取 $v_c=100\text{m/min}$ ，则

$$n=1000\times v_c/\pi D=1000\times 100/(\pi\times 120)\text{r/min}=265.4\text{ r/min}$$

阶梯轴 V 加工工步及切削用量列于加工工艺卡中，见表 5-3。



表 5-3 阶梯轴 V 加工工艺卡

单位名称	×××		产品名称或代号		零件名称		零件图号	
			×××		阶梯轴 V		×××	
工序号	程序编号		夹具名称		使用设备		车间	
001	×××		三爪自定心卡盘		数控机床		×××	
工步号	工步内容		刀具号	刀具规格 (mm)	主轴转速 $n/(r/min)$	进给速度 $f/(mm/r)$	背吃刀量 $a_p/(mm)$	备注
1	装夹毛坯 $\phi 120$ 外圆，外伸 160mm，找正							手动
2	对刀，设置编程原点为零件右端面中心		T01	25×25				手动
3	粗车各段外圆及锥面		T01	25×25	300	0.2	≤ 2.5	自动
4	精车各段外圆及锥面		T01	25×25	500	0.15	0.25	自动
编制	×××	审核	×××	批准	×××	年 月 日	共 页	第 页

4. 程序编制

阶梯轴 V 数控加工程序清单见表 5-4。

表 5-4 阶梯轴 V 数控加工程序清单

程序号：O0005		
程序段号	程序内容	程序说明
N10	G40 G97 G99 M03 S300 F0.2;	取消刀补，设主轴正转，转速为 300r/min，设进给量 0.2mm/r
N20	T0101;	换 90° 偏刀到位
N30	M08;	打开切削液
N40	G42 G00 X120.0 Z2.0;	设置刀具右补偿，快速进刀至循环起点 A 点
N50	G71 U2.5 R0.5;	定义粗车循环，背吃刀量 2.5mm，退刀量 0.5mm
N60	G71 P70 Q160 U0.5 W0.05;	精车路线由 N70-N160 指定，X 方向精车余量 0.5mm，Z 方向精车余量 0.05mm
N70	G00 X0.0 S500;	快速进刀，设主轴转速为 500 r/min
N80	G01 Z0.0 F0.15;	设进给量 0.15 mm/r
N90	X40.0;	精加工轮廓
N100	W-30.0;	
N110	X60.0 W-30.0;	
N120	W-20.0;	
N130	X100.0 W-10.0;	
N140	W-20.0;	
N150	X120.0 Z130.0;	
N160	G40 G01 X121.0;	
N170	G70 P70 Q160;	定义 G70 精车循环，精车各外圆表面
N180	G00 X200.0 Z100.0;	快速回换刀点
N190	M30;	程序结束



五、任务学习手记（见表 5-5）

表 5-5 任务学习手记

学生姓名		第_____组	组名	
同组人姓名				
任务学习与执行过程				
学习体会				
巩固练习				
个人自评	本人签名：_____			
小组评价	组长签名：_____			
教师评价	教师签名：_____			



任务六 外圆柱（锥）面Ⅱ数控加工程序的编制

一、项目任务书

外圆柱（锥）面数控加工程序的编制项目任务书，见表 6-1。

表 6-1 项目任务书

情境名称	圆柱（锥）面数控加工程序的编制				
学习目标	1. 掌握外圆柱（锥）面的加工工艺 2. 掌握外圆柱（锥）面数控编程技巧与方法				
<div></div>					
零件名称	阶梯轴Ⅵ	材料	铸钢	毛坯尺寸	以铸造成型，加工余量为 10mm
任务内容：制定阶梯轴Ⅵ的加工工艺并编制其数控加工程序					
学习指令：固定形状粗车循环指令（G73），精加工循环指令（G70）					
备注					

二、学习导读

封闭切削循环是一种复合固定循环，如图 6-1 所示。封闭切削循环适用于对铸、锻毛坯进行切削，对零件轮廓的单调性则没有要求。

指令编程格式

```
G73 U(i) _ W(k) _ R(d) _ ;
G73 P(ns) _ Q(nf) _ U(Δu) _ W(Δw) _ F(f) _ S(s) _ T(t) _ ;
```

- 其中
- i——X 轴向总退刀量；
 - k——Z 轴向总退刀量（半径值）；
 - d——重复加工次数；
 - ns——精加工轮廓程序段中开始程序段的段号；



nf——精加工轮廓程序段中结束程序段的段号；

Δu ——X 轴向精加工余量；

Δw ——Z 轴向精加工余量；

f、s、t——F、S、T 代码。

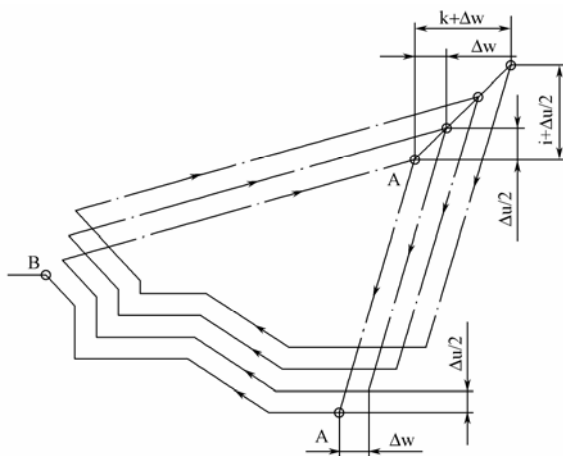


图 6-1 封闭切削循环

【例 6-1】 按图 6-2 所示尺寸编写封闭切削循环加工程序。

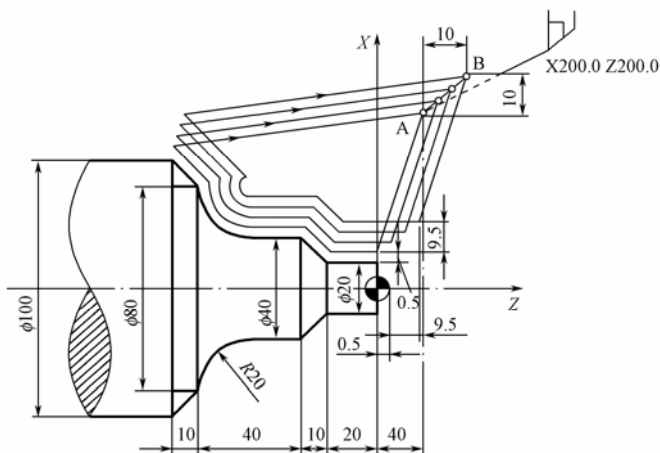


图 6-2 G73 程序例图

```

N01 G50 X200 Z200 T0101;
N20 M03 S2000;
N30 G00 G42 X140 Z40 M08;
N40 G96 S150;
N50 G73 U9.5 W9.5 R3;
N60 G73 P70 Q130 U1 W0.5 F0.3;
N70 G00 X20 Z0;
    
```

//ns



```
N80 G01 Z-20 F0.15;  
N90 X40 Z-30;  
N100 Z-50;  
N110 G02 X80 Z-70 R20;  
N120 G01 X100 Z-80;  
N130 X105; //nf  
N140 G00 X200 Z200 G40;  
N150 M30;
```

三、任务解析

由于任务书中毛坯为铸造成型，即零件的最终形状与零件毛坯的轮廓形状基本接近，故应用固定形状粗车循环指令（G73）和精加工循环指令（G70）对零件进行数控加工编程。

加工工艺路线：装夹→对刀→设置编程原点为零件右端面中心→粗车各段外圆及锥面→精车各段外圆及锥面。

四、任务实施（零件加工工艺分析与编程）

1. 工装

采用三爪自定心卡盘夹紧零件的外圆周面。

2. 刀具选择

数控加工刀具卡片见表 6-2。

表 6-2 数控加工刀具卡片

产品名称或代号		×××		零件名称	阶梯轴Ⅵ		零件图号	×××
序号	刀具号	刀具规格名称		数量	加工表面	刀尖半径 R/mm	刀尖方位 T	备注
1	T01	硬质合金 93° 偏刀		1	各段外圆及锥面	0.4	3	右偏刀
编制		×××	审核	×××	批准	×××	共 页	第 页

3. 制作加工工艺卡

计算主轴转速，取 $v_C=100\text{m/min}$ ；

$$n=1000 \times v_C / \pi D = 1000 \times 100 / (\pi \times 180) \text{r/min} = 176.93 \text{r/min}$$

阶梯轴Ⅵ加工工步及切削用量列于加工工艺卡中，见表 6-3。



表 6-3 阶梯轴Ⅵ加工工艺卡

单位名称		×××		产品名称或代号		零件名称		零件图号	
				×××		阶梯轴Ⅵ		×××	
工序号		程序编号		夹具名称		使用设备		车间	
001		×××		三爪自定心卡盘		数控车床		×××	
工步号	工步内容			刀具号	刀具规格 (mm)	主轴转速 $n/(r/min)$	进给速度 $f/(mm/r)$	背吃刀量 $a_p/(mm)$	备注
1	装夹毛坯，找正								手动
2	对刀，设置编程原点为零件右端面中心			T01	25×25				手动
3	粗车各段外圆及锥面			T01	25×25	200	0.2	≤2.5	自动
4	精车各段外圆及锥面			T01	25×25	500	0.15	0.25	自动
编制		×××	审核	×××	批准	×××	年 月 日		共 页 第 页

4. 程序编制

阶梯轴Ⅵ数控加工程序清单见表 6-4。

表 6-4 阶梯轴Ⅵ数控加工程序清单

程序号：O0006		
程序段号	程序内容	程序说明
N10	G40 G97 G99 M03 S200 F0.2;	取消刀补，设主轴正转，转速为 300 r/min 设进给量 0.2 mm/r
N20	T0101;	换 93° 偏刀到位
N30	M08;	打开切削液
N40	G42 G00 X180.0 Z2.0;	设置刀具右补偿，快速进刀至循环起点 A 点
N50	G73 U10.0 W10.0 R4.0;	定义 G73 粗车循环，X 方向总退刀量 10mm，Z 方向总退刀量 10mm，循环 4 次
N60	G73 P70 Q150 U0.5 W0.05;	精车路线由 N70-N150 指定，X 方向精车余量 0.5mm，Z 方向精车余量 0.05mm
N70	G00 X0.0 S500;	精加工轮廓，设精车循环的进给量 0.15 mm/r
N80	G01 Z0.0 F0.15;	
N90	X80.0;	
N100	Z-20.0;	
N110	X120.0 W-10.0;	
N120	W-40.0;	
N130	X160.0;	
N140	X180.0 Z-80.0;	
N150	G40 G01 X181.0;	取消刀具补偿
N160	G70 P70 Q150;	定义 G70 精车循环，精车各外圆面
N170	G00 X200.0 Z100.0;	快速回换刀点
N180	M30;	程序结束



五、任务学习手记（见表 6-5）

表 6-5 任务学习手记

学生姓名		第____组	组名	
同组人姓名				
任务学习与执行过程				
学习体会				
巩固练习				
个人自评	本人签名：_____			
小组评价	组长签名：_____			
教师评价	教师签名：_____			

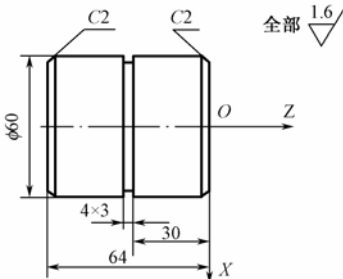


任务七 窄槽（面）数控加工程序的编制

一、项目任务书

窄槽（面）数控加工程序的编制项目任务书，见表 7-1。

表 7-1 项目任务书

情境名称	圆柱（锥）面数控加工程序的编制				
学习目标	1. 掌握窄槽（面）的加工工艺 2. 掌握窄槽（面）数控编程技巧与方法				
<div></div>					
零件名称	销轴	材料	45 钢	毛坯尺寸	$\phi 65 \times 90$
任务内容：制定销轴表面的加工工艺并编制其数控加工程序					
学习指令：进给暂停指令（G04）					
备注					

二、学习导读

1. 槽的分类

根据沟槽宽度不同，槽有宽槽和窄槽两种。

- （1）窄槽：沟槽的宽度不大，采用刀头宽度等于槽宽的车刀，一次车出的沟槽称之为窄槽。
- （2）宽槽：沟槽的宽度大于切槽刀头宽度的槽称为宽槽。

2. 刀具的选择及刀位点的确定

切槽及切断选用切刀，切刀有左右两个刀尖及切削中心处的三个刀位点，如图 7-1 所示，在编写加工程序时采用其中之一作为刀位点，一般常用刀位点 1。

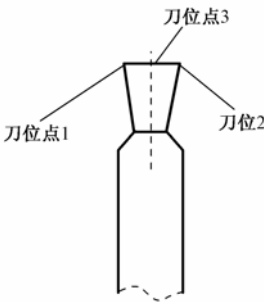


图 7-1 切刀



3. 程序暂停指令（G04）

G04 指令用于暂停进给，其指令格式是：

```
G04 P__ 或 G04 X(U) __ ；
```

暂停时间的长短可以通过地址 X(U)或 P 来指定。其中 P 后面的数字为整数，单位是 ms；X(U)后面的数字为带小数点的数，单位为 s。有些机床，X(U)后面的数字表示刀具或工件空转的圈数。

该指令可以使刀具作短时间的无进给光整加工，在车槽、钻镗孔时使用，也可用于拐角轨迹控制。例如，在车削环槽时，若进给结束时立即退刀，则其环槽外形为螺旋面。用暂停指令 G04 可以使工件空转几秒钟，即能将环形槽外形光整。

例如，欲空转 2.5s 时其程序段为：

```
G04 X2.5 或 G04 U2.5 或 G04 P2500;
```

G04 为非模态指令，只在本程序段中才有效。

4. 窄槽加工方法

加工窄槽时用 G01 指令直进切削。精度要求较高时，切槽至尺寸后，用 G04 指令使刀具在槽底停留几分钟，以光整槽底。

5. 切槽与切断编程中应注意的问题

- (1) 在整个加工程序中应采用同一个对刀点。
- (2) 注意合理安排切槽后的退刀路线，避免刀具与零件碰撞而造成车刀及零件的损坏。
- (3) 切槽时，刀刃宽度、切削速度和进给量都不宜太大。

三、任务解析

该零件表面粗糙度要求较高，应分粗、精加工。精加工时，应加大主轴转速，减小进给量，以保证表面粗糙度的要求。

加工工艺路线：装夹→对刀→设置编程原点为零件右端面中心→粗车外圆及右倒角→精车外圆及右倒角→切窄槽、切断、左倒角。

四、任务实施（零件加工工艺分析与编程）

1. 工装

采用三爪自定心卡盘夹紧零件的外圆周面。

2. 刀具选择

加工该零件时应该准备两把刀具。数控加工刀具卡片见表 7-2。



表 7-2 数控加工刀具卡片

产品名称或代号		×××		零件名称	销轴		零件图号	×××
序号	刀具号	刀具规格名称		数量	加工表面	刀尖半径 R/mm	刀尖方位 <i>T</i>	备注
1	T01	硬质合金 90° 偏刀		1	外圆，端面 and 右倒角	0.4	3	右偏刀
2	T03	硬质合金切刀（刀宽为 4mm）		1	窄槽面		8	
编制		×××	审核	×××	批准	×××	共 页	第 页

3. 制作加工工艺卡

销轴加工工步及切削用量列于加工工艺卡中，见表 7-3。

表 7-3 销轴加工工艺卡

单位名称	×××		产品名称或代号		零件名称		零件图号	
			×××		销轴		×××	
工序号	程序编号		夹具名称		使用设备		车间	
001	×××		三爪自定心卡盘		数控车床		×××	
工步号	工步内容		刀具号	刀具规格 (mm)	主轴转速 <i>n</i> /(r/min)	进给速度 <i>f</i> /(mm/r)	背吃刀量 <i>a_p</i> /(mm)	备注
1	装夹毛坯，找正							手动
2	对刀，设置编程原点为零件右端面中心		T01	25×25				手动
3	粗车外圆及右倒角		T01	25×25	500	0.25	2	自动
4	精车外圆及右倒角		T01	25×25	800	0.15	0.5	自动
5	切窄槽、切断、左倒角		T03		300	0.05	4	自动
编制	×××	审核	×××	批准	×××	年 月 日		共 页 第 页

4. 程序编制

销轴数控加工程序清单见表 7-4。

表 7-4 销轴数控加工程序清单

程序号：O0007		
程序段号	程序内容	程序说明
N10	G40 G97 G99 M03 S500;	取消刀补，设主轴正转，转速为 500 r/min
N20	T0101;	换 90° 偏刀
N30	M08;	打开切削液
N40	G42 G00 X61.0 Z2.0;	设置刀具右补偿，快速进刀，准备粗车
N50	G01 Z-68.0 F0.25;	粗车 $\phi 60$ 外圆，设进给量 0.25 mm/r
N60	G00 X62.0 Z2.0;	快速退刀
N70	X0.0;	快速进刀
N80	G01 Z0.0 F0.15;	慢速进刀，准备车端面，设进给量 0.15 mm/r
N90	X56.0;	车端面
N100	X60.0 Z-2.0;	车右倒角
N110	Z-68.0 S800;	精车 $\phi 60$ 外圆至尺寸，设主轴转速 800 r/min



续表

程序号：O0007		
程序段号	程序内容	程序说明
N120	G40 G01 X65.0;	取消刀具补偿
N130	G00 X200.0 Z100.0;	快速退刀至换刀点
N140	M09;	关闭切削液
N150	T0303;	换切刀
N160	M08;	打开切削液
N170	G00 X62.0 Z-34.0 S300;	快速进刀，准备车槽，设主轴转速 300 r/min
N180	G01 X54.0 F0.05;	切槽至槽底，设进给量 0.05 mm/r
N190	G04 U2.0;	进给暂停 2s
N200	G01 X62.0;	退刀
N210	G00 Z-68.0;	移刀
N230	G01 X56.0;	切槽
N240	X62.0;	退刀
N250	G00 W2.0;	移刀，准备切倒角
N260	G01 X60.0;	慢速进刀
N270	X56.0 Z-68.0;	车左倒角
N280	X0.0;	切断
N290	G00 X200.0 Z100.0;	快速回换刀点
N300	M30;	程序结束

五、任务学习手记（见表 7-5）

表 7-5 任务学习手记

学生姓名		第_____组	组名	
同组人姓名				
任务学习与执行过程				
学习体会				
巩固练习				
个人自评	本人签名：_____			
小组评价	组长签名：_____			
教师评价	教师签名：_____			

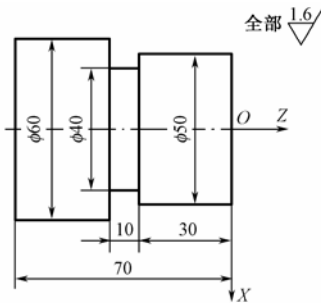


任务八 宽槽（面）数控加工程序的编制

一、项目任务书

宽槽（面）数控加工程序的编制项目任务书，见表 8-1。

表 8-1 项目任务书

情境名称	圆柱（锥）面数控加工程序的编制				
学习目标	1. 掌握宽槽（面）的加工工艺 2. 掌握宽槽（面）数控编程技巧与方法				
<div></div>					
零件名称	销轴	材料	45 钢	毛坯尺寸	$\phi 60 \times 100$
任务内容：制定销轴的加工工艺并编制其数控加工程序					
学习指令：直线插补指令（G01）					
备注					

二、学习导读

宽槽的加工方法是，分几次进刀（使用 G01 指令），每次车削轨迹在宽度上应略有重叠，并留有精加工余量，最后精车槽侧和槽底。

三、任务解析

销轴零件图中宽槽宽度为 10mm 而一般切断刀的宽度为 4mm 左右，故本任务中需要多次应用 G01 指令进行切槽加工。由于该零件表面粗糙度要求较高，故应分粗、精加工。

加工工艺路线：装夹→对刀→设置编程原点为零件右端面中心→粗车各外圆→精车各外圆→切宽槽、切断。



四、任务实施（零件加工工艺分析与编程）

1. 工装

采用三爪自定心卡盘夹紧零件的外圆周面。

2. 刀具选择

数控加工刀具卡片见表 8-2。

表 8-2 数控加工刀具卡片

产品名称或代号		×××		零件名称		销轴		零件图号	×××
序号	刀具号	刀具规格名称		数量	加工表面	刀尖半径 R/mm		刀尖方位 T	备注
1	T01	硬质合金 90° 偏刀		1	各外圆，端面	0.4		3	右偏刀
2	T03	硬质合金切刀 (刀宽为 4mm)		1	宽槽面				
编制		×××	审核	×××	批准	×××		共 页	第 页

3. 制作加工工艺卡

销轴加工工步及切削用量列于加工工艺卡中，见表 8-3。

表 8-3 销轴加工工艺卡

单位名称		×××		产品名称或代号			零件名称		零件图号	
				×××			销轴		×××	
工序号		程序编号		夹具名称			使用设备		车间	
001		×××		三爪自定心卡盘			数控车床		×××	
工步号	工步内容			刀具号		刀具规格 (mm)	主轴转速 $n/(r/min)$	进给速度 $f/(mm/r)$	背吃刀量 $a_p/(mm)$	备注
1	用三爪自定心卡盘夹住毛坯，找正									手动
2	对刀，设置编程原点为零件右端面中心			T01		25×25				手动
3	粗车各外圆			T01		25×25	300	0.25	2.5	自动
4	精车各外圆			T01		25×25	800	0.15	0.5	自动
5	切宽槽、切断			T02		20×25	350	0.05	4	
编制		×××	审核	×××	批准	×××	年 月 日		共 页	第 页

4. 程序编制

销轴数控加工程序清单见表 8-4。



表 8-4 销轴数控加工程序清单

程序号：O0008		
程序段号	程序内容	程序说明
N10	G40 G97 G99 M03 S300;	取消刀补，设主轴正转，转速为 300 r/min
N20	T0101;	换 90° 偏刀到 01 号刀位
N30	M08;	打开切削液
N40	G42 G00 X61.0 Z2.0;	设刀具右补偿，快速进刀，准备粗车 $\phi 60$ 外圆
N50	G01 Z-74.0 F0.25;	粗车 $\phi 60$ 外圆，设进给量 0.25 mm/r
N60	G00 X62.0 Z2.0;	快速退刀
N70	X56.0;	快速进刀，准备粗车 $\phi 50$ 外圆第一刀
N80	G01 Z-40.0;	粗车 $\phi 50$ 外圆第一刀
N90	G00 X58.0 Z2.0;	快速退刀
N100	X51.0;	快速进刀，准备粗车 $\phi 50$ 外圆第二刀
N110	G01 Z-40.0;	粗车 $\phi 50$ 外圆第二刀
N120	G00 X53.0 Z2.0;	快速退刀
N130	X50.0 S800;	快速进刀，准备精车 $\phi 50$ 外圆，设主轴转速 800 r/min
N140	G01 Z-40.0 F0.15;	精车 $\phi 50$ 外圆至要求尺寸，设进给量 0.15 mm/r
N150	X60.0;	精车 $\phi 60$ 端面
N160	Z-70.0;	精车 $\phi 60$ 外圆至要求尺寸
N170	G40 G01 X61.0;	取消刀具补偿
N180	G00 X200.0 Z100.0;	快速退刀至换刀点
N190	M09;	关闭切削液
N200	T0303;	换切刀
N210	M08;	打开切削液
N220	G00 X52.0 Z-34.0 S350;	快速进刀，准备车槽，设主轴转速 350 r/min
N230	G01 X40.0 F0.05;	粗车槽第一刀，设进给量 0.05 mm/r
N240	X52.0;	退刀
N250	G00 Z-37.0;	移刀
N260	G01 X40.0;	粗车槽第二刀
N270	X52.0;	退刀
N280	G00 Z-40.0;	移刀
N290	G01 X40.0 ;	粗车槽第三刀
N300	Z-34.0;	精车槽底
N310	X52.0;	精车槽侧边
N320	G00 X62.0;	快速退刀
N330	Z-74.0;	移刀，准备切倒角
N340	G01 X0.0;	切断
N350	G00 X200.0 Z100.0;	快速回换刀点
N360	M30;	程序结束



五、任务学习手记（见表 8-5）

表 8-5 任务学习手记

学生姓名		第____组	组名	
同组人姓名				
任务学习与执行过程				
学习体会				
巩固练习				
个人自评	本人签名：_____			
小组评价	组长签名：_____			
教师评价	教师签名：_____			

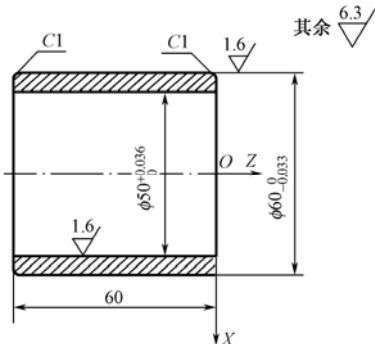


任务九 内、外圆柱面数控加工程序的编制

一、项目任务书

内、外圆柱面数控加工程序的编制项目任务书，见表 9-1。

表 9-1 项目任务书

情境名称	圆柱（锥）面数控加工程序的编制				
学习目标	1. 掌握内、外圆柱面的加工工艺 2. 掌握内、外圆柱面数控编程技巧与方法				
<div></div>					
零件名称	衬套	材料	45 钢	毛坯尺寸	$\phi 65 \times 90$
任务内容：制定衬套的加工工艺并编制其数控加工程序					
学习指令：直线插补指令 G01，刀尖圆弧补偿指令 G42					
备注					

二、学习导读

该零件有外圆、倒角、通孔等加工表面，其中 $\phi 60$ 外圆， $\phi 50$ 内孔的表面粗糙度及尺寸精度较高、应分粗、精加工。因通孔直径为 $\phi 50$ ，故可用钻孔→粗镗孔→精镗孔方式加工。毛坯料足够长，可采用一次装夹零件完成各表面的加工。

三、任务解析

对具有公差的尺寸由公式

$$\text{编程尺寸} = \text{基本尺寸} + (\text{上偏差} + \text{下偏差}) / 2$$

计算如下：

$\phi 60$ 外圆的编程尺寸= $59.9835\text{mm} \approx 59.984 \text{ mm}$ ；

$\phi 500$ 内孔的编程尺寸= 50.018 mm 。

加工工艺路线：装夹→车端面、钻中心孔→对刀→用 $\phi 47$ 钻头手动钻内孔→粗镗 $\phi 50$ 孔→



精镗 $\phi 50$ 孔→粗车 $\phi 60$ 外圆→车左倒角、切断。

四、任务实施（零件加工工艺分析与编程）

1. 工装

采用三爪自定心卡盘夹紧零件的外圆周面。

2. 刀具选择

数控加工刀具卡片见表 9-2。

表 9-2 数控加工刀具卡片

产品名称或代号		×××		零件名称		衬套		零件图号	×××
序号	刀具号	刀具规格名称		数量	加工表面	刀尖半径 R/mm	刀尖方位 T	备注	
1		中心钻		1	定位孔			置于尾座	
2		$\phi 47$ 钻头		1	内孔面				
3	T01	硬质合金 90° 偏刀		1	倒角及外圆	0.4	3	右偏刀	
4	T02	硬质合金通孔镗刀		1	内孔面	0.4	2		
5	T03	硬质合金切刀（刀宽为 4mm）		1	左倒角及切断面		8		
编制		×××	审核	×××	批准	×××	共 页	第 页	

3. 制作加工工艺卡

镗孔刀杆较细，镗内孔时应选用较小的进给量。衬套加工工步及切削用量列于加工工艺卡中，见表 9-3。

表 9-3 加工工艺卡

单位名称	×××		产品名称或代号		零件名称		零件图号	
			×××		衬套		×××	
工序号	程序编号		夹具名称		使用设备		车间	
001	×××		三爪自定心卡盘		数控车床		×××	
工步号	工步内容		刀具号	刀具规格 (mm)	主轴转速 $n/(r/\text{min})$	进给速度 $f/(\text{mm}/r)$	背吃刀量 $a_p/(\text{mm})$	备注
1	装夹，找正，车端面，钻中心孔		T01/A	25×25 中心钻				手动
2	对刀，设置编程原点为零件右端面中心		T01	25×25				手动
3	用 $\phi 47$ 钻头手动钻内孔			$\phi 47$ 钻头				手动
4	粗车 $\phi 60$ 外圆		T01	25×25	500	0.25	2	自动
5	精车 $\phi 60$ 外圆		T01	25×25	800	0.1	0.25	自动
6	粗镗 $\phi 50$ 孔		T02	25×25	500	0.2	1	自动
7	精镗 $\phi 50$ 孔		T02	25×25	800	0.1	0.5	自动
8	车左倒角、切断		T03	25×25	350	0.05	4	自动
编制	×××	审核	×××	批准	×××	年 月 日		共 页 第 页



4. 程序编制

衬套数控加工程序清单见表 9-4。

表 9-4 衬套数控加工程序清单

程序号：O0009		
程序段号	程序内容	程序说明
N10	G40 G97 G99 M03 S500;	取消刀补，设主轴正转，转速为 500 r/min
N20	T0202;	换通孔镗刀
N30	M08;	打开切削液
N40	G41 G00 X49.0 Z2.0;	设置刀具左补偿，快速进刀，准备粗镗 $\phi 50$ 孔
N50	G01 Z-64.0 F0.2;	粗车 $\phi 50$ 外圆，设进给量 0.2mm/r
N60	G00 X47.0 Z2.0;	快速退刀
N70	X50.018 S800;	快速进刀，设主轴转速 800 r/min，准备精镗孔
N80	G01 Z-64.0 F0.1;	精镗孔，设进给量 0.1mm/r
N90	G40 G01 X47.0;	取消刀具补偿
N100	G00 Z2.0;	快速退刀
N110	X200.0 Z100.0;	回换刀点
N120	M09;	关闭切削液
N130	T0101;	换 90° 偏刀
N140	M08;	打开切削液
N150	G42 G00 X61.0 Z2.0;	建立刀具右补偿，快速进刀，粗车 $\phi 60$ 外圆
N160	G01 Z-64.0 F0.25;	粗车 $\phi 60$ 外圆，设进给量 0.25 mm/r
N170	G00 X62.0 Z2.0;	快速退刀
N180	X50.0 S800;	快速进刀，设主轴转速 800 r/min，准备倒角
N190	G01 Z0.0;	慢速进刀至端面
N200	X57.984;	车端面
N210	X59.984 Z-1.0 F1.0;	倒角，设进给量 0.1 mm/r，准备精车外圆
N220	Z-64.0;	精车 $\phi 60$ 外圆至要求尺寸
N230	G40 G01 X65.0;	取消刀具半径补偿
N240	G00 X200.0 Z100.0;	快速退刀至换刀点
N250	M09;	关闭切削液
N260	T0303;	换切刀
N270	M08;	打开切削液
N280	G00 X62.0 Z-64.0 S350.0;	快速进刀，设主轴转速 800 r/min，准备切槽
N290	G01 X58.0 F0.05;	车槽，设进给量 0.5 mm/r
N300	X62.0;	退刀
N310	G00 W1.0;	移刀，增量编程方式
N320	G01 X59.984;	慢速进刀，准备切左倒角
N330	X57.984 Z-64.0;	切左倒角
N340	X48.0;	切断
N350	G00 X200.0 Z100.0;	快速退刀至换刀点
N360	X30;	程序结束



五、任务学习手记（见表 9-5）

表 9-5 任务学习手记

学生姓名		第____组	组名	
同组人姓名				
任务学习与执行过程				
学习体会				
巩固练习				
个人自评	本人签名：_____			
小组评价	组长签名：_____			
教师评价	教师签名：_____			



任务十 内沟槽（面）数控加工程序的编制

一、项目任务书

内沟槽（面）数控加工程序的编制项目任务书，见表 10-1。

表 10-1 项目任务书

情境名称	圆柱（锥）面数控加工程序的编制				
学习目标	1. 掌握内沟槽（面）的加工工艺 2. 掌握内沟槽（面）数控编程技巧与方法				
<div></div>					
零件名称	轴承座	材料	45 钢	毛坯尺寸	$\phi 45 \times 180$
任务内容：制定轴承座的加工工艺并编制其数控加工程序					
学习指令：外圆粗车循环指令 G71，精加工循环指令 G70，刀尖圆弧半径补偿指令 G41，刀尖圆弧半径补偿取消指令 G42					
备 注					

二、学习导读

该零件有外圆、孔、内窄沟槽，以及内、外倒角等加工表面，表面粗糙度要求较高，应分粗、精加工。因最小孔尺寸为 $\phi 18$ ，且 $\phi 28$ 内孔尺寸精度要求高，故可用钻孔→粗镗孔→精镗孔的加工方式加工。由于内外表面有同轴度要求，所以采用一次装夹切断方式完成加工。

三、任务解析

对具有公差的尺寸，由公式

$$\text{编程尺寸} = \text{基本尺寸} + (\text{上偏差} + \text{下偏差}) / 2$$



计算如下：

$\phi 42$ 外圆的编程尺寸=41.9805mm \approx 41.981mm;

22 长度的编程尺寸=22.25mm

加工工艺路线：装夹→车端面、钻中心孔→对刀→钻内孔→粗、精车外圆→粗、精镗内孔及内倒角→切内沟槽→车左倒角，切断。

四、任务实施（零件加工工艺分析与编程）

1. 工装

采用三爪自定心卡盘夹紧零件的外圆周面。

2. 刀具选择

数控加工刀具卡片见表 10-2。

表 10-2 数控加工刀具卡片

产品名称或代号		×××		零件名称	轴承座		零件图号	×××
序号	刀具号	刀具规格名称		数量	加工表面	刀尖半径 R/ mm	刀尖方位 T	备注
1		中心钻		1	定位孔			置于尾座
2		$\phi 18$ 钻头		1	内孔面			置于尾座
3	T01	硬质合金 90° 偏刀		1	加工外圆、倒角、端面	0.4	3	右偏刀
4	T02	硬质合金不通孔镗刀		1	镗孔、孔底、内倒角	0.4	2	
5	T04	硬质合金内孔切刀（刀宽 3mm）		1	内沟槽			
6	T03	硬质合金切刀（刀宽为 4mm）		1	左倒角，切断			
编制		×××	审核	×××	批准	×××	共 页	第 页

3. 制作加工工艺卡

轴承座加工工步及切削用量列于加工工艺卡中，见表 10-3。

表 10-3 加工工艺卡

单位名称		×××	产品名称或代号		零件名称		零件图号		
			×××		轴承座		×××		
工序号		程序编号		夹具名称		使用设备		车间	
001		×××		三爪自定心卡盘		数控车床		×××	
工步号	工步内容			刀具号	刀具规格 (mm)	主轴转速 n/(r/min)	进给速度 f/(mm/r)	背吃刀量 a _p /(mm)	备注
1	装夹找正、车端面、钻中心孔			T01/A2	中心钻				手动
2	对刀，设置编程原点为零件右端面中心			T01	25×25				手动
3	钻内孔			φ18 钻头					手动
4	粗车φ42 外圆			T01	25×25	500	0.25	2	自动
5	精车φ42 外圆			T01	25×25	800	0.1	0.5	自动
6	外倒角			T01	25×25	500	0.1	1	自动
7	粗镗φ28 内孔			T02	25×25	500	0.15	1	自动



续表

单位名称	×××		产品名称或代号		零件名称		零件图号	
			×××		轴承座		×××	
工序号	程序编号		夹具名称		使用设备		车间	
001	×××		三爪自定心卡盘		数控车床		×××	
工步号	工步内容		刀具号	刀具规格 (mm)	主轴转速 $n/(r/min)$	进给速度 $f/(mm/r)$	背吃刀量 $a_p/(mm)$	备注
8	内倒角		T02	25×25	500	0.1	1	自动
9	精镗 $\phi 28$ 内孔		T02	25×25	800	0.1	0.5	
10	切内沟槽		T04	25×25	300	0.05	—	
11	车左倒角，切断		T03	25×25	300	0.05	—	
编制	×××	审核	×××	批准	×××	年 月 日	共 页	第 页

4. 程序编制

轴承座数控加工程序清单见表 10-4。

表 10-4 轴承座数控加工程序清单

程序号：O0010		
程序段号	程序内容	程序说明
N10	G40 G97 G99 M03 S500;	取消刀具补偿，设主轴正转，转速为 500 r/min
N20	T0101;	换 90° 偏刀到位
N30	M08;	打开切削液
N40	G42 G00 X43.0 Z2.0;	设置刀具右补偿，快速进刀，准备粗车 $\phi 42$ 外圆
N50	G01 Z-34.0 F0.25;	粗车 $\phi 42$ 外圆，设进给量 0.25 mm/r
N60	G00 X45.0 Z2.0;	快速退刀
N70	X39.981;	快速进刀，准备倒角
N80	G01 Z0.0;	慢速进刀至端面，准备倒角
N90	X41.981 Z-1.0 F1.0;	倒角，设进给量 0.1 mm/r，准备精车外圆
N100	Z-34.0 S800;	精车 $\phi 42$ 外圆，设主轴转速为 800 r/min
N110	G40 G00 X200.0 Z100.0;	取消刀具半径补偿，快速退刀至换刀点
N120	M09;	关闭切削液
N125	M01;	程序有条件停止
N130	T0202;	换镗刀
N140	M08;	打开切削液
N150	G00 X18.0 Z2.0 S500 F0.15;	快速进刀，设主轴转速为 500 r/min，设进给量 0.15 mm/r，准备粗镗 $\phi 28$ 内孔
N160	G71 U1 R0.5;	定义粗车循环，切削深度 1mm，退刀量 0.5mm
N170	G71 P180 Q220 U-0.5 W0.05;	精车路线由 N180~N220 指定，X 方向精车余量 0.5mm，Z 方向 0.05mm
N180	G41 G00 X30.017 S800;	
N190	G01 Z0.0 F0.1;	定义精加工轮廓，设置刀具左补偿
N200	X28.017 Z-1.0;	定义 G70 精车循环，精车内孔表面
N210	Z-22.25;	取消刀具补偿，快速退刀至换刀点
N220	X18.0;	关闭切削液
N230	G70 P180 Q220;	换内切刀
N240	G40 G00 X100.0 Z100.0;	打开切削液
N250	M09;	快速进刀
N260	T0404;	快速进刀，准备切槽，设主轴转速为 300 r/min
N270	M08;	车槽第一刀，设进给量 0.05 mm/r



续表

程序号：O0010		
程序段号	程序内容	程序说明
N280	G00 X17.0 Z2.0;	进给暂停 2s
N290	Z-22.25 S300;	退刀
N300	G01 X29.0 F0.05;	退刀
N310	G04 X2.0;	快速退刀至换刀点
N320	G00 X26.0;	关闭切削液
N330	Z2.0;	换切刀
N340	G00 X200.0 Z100.0;	打开切削液
N350	M09;	快速进刀
N360	T0303;	切槽
N370	M08;	退刀
N380	G00 X44.0 Z-34.0;	移刀
N390	G01 X39.981 F0.05;	慢速进刀至外圆表面，准备车倒角
N400	G00 X44.0;	车倒角
N410	W1.0;	切断
N420	G01 X41.981;	快速退刀至换刀点
N430	X39.981 Z34.0;	程序结束
N440	X18.0;	
N450	G00 X200.0 Z100.0;	
N460	M30;	

五、任务学习手记（见表 10-5）

表 10-5 任务学习手记

学生姓名		第____组	组名	
同组人姓名				
任务学习与执行过程				
学习体会				
巩固练习				
个人自评	本人签名：_____			
小组评价	组长签名：_____			
教师评价	教师签名：_____			

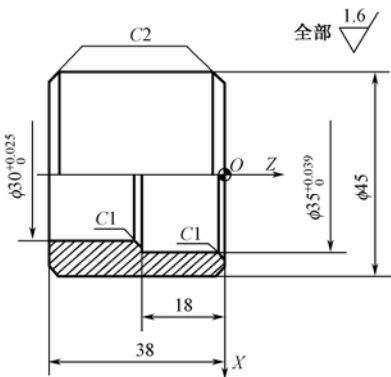


任务十一 内阶梯孔（面）数控加工程序的编制

一、项目任务书

内阶梯孔（面）数控加工程序的编制项目任务书,见表 11-1。

表 11-1 项目任务书

情境名称	圆柱（锥）面数控加工程序的编制				
学习目标	1. 掌握内阶梯孔（面）的加工工艺 2. 掌握内阶梯孔（面）数控编程技巧与方法				
<div></div>					
零件名称	衬套	材料	45 钢	毛坯尺寸	$\phi 50 \times 70$
任务内容：制定衬套的加工工艺并编制其数控加工程序					
学习指令：直线插补指令 G01，刀尖圆弧半径补偿指令（G41，G42）；刀尖圆弧半径补偿取消指令（G40）					
备注					

二、学习导读

该零件有外圆，台阶孔，内、外倒角等加工表面，表面粗糙度要求较高，应分粗、精加工。因孔的最小尺寸为 $\phi 30$ ，故可用钻孔→粗镗孔→精镗孔的加工方式加工。其中 $\phi 35$ 、 $\phi 30$ 有尺寸精度要求，取极限尺寸的平均值进行加工。由于棒料较长，故可采用一次装夹零件完成各表面的加工。

三、任务解析

对具有公差的大小，由公式

$$\text{编程尺寸}=\text{基本尺寸}+(\text{上偏差}+\text{下偏差})/2$$

计算如下：

$\phi 30$ 外圆的编程尺寸= $30.0125\text{mm} \approx 30.013 \text{ mm}$;

$\phi 35$ 外圆的编程尺寸= $35.0195\text{mm} \approx 35.02$ 。

加工工艺路线：装夹→车端面、手动钻中心孔→对刀→钻内孔→粗、精车外圆，倒角→



粗、精镗阶梯孔→车左外倒角，切断。

四、任务实施（零件加工工艺分析与编程）

1. 工装

采用三爪自定心卡盘夹紧零件的外圆周面。

2. 刀具选择

数控加工刀具卡片见表 11-2。

表 11-2 数控加工刀具卡片

产品名称或代号		×××		零件名称		衬套		零件图号	×××
序号	刀具号	刀具规格名称		数量	加工表面		刀尖半径 R/mm	刀尖方位 T	备注
1		中心钻 A2		1					置于尾座
2		φ28 钻头		1					置于尾座
3	T01	选硬质合金 90° 偏刀		1	外圆及倒角		0.4	3	右偏刀
4	T02	选硬质合金不通孔镗刀		1	加工阶梯孔及内倒角		0.4	2	
5	T03	选切刀（刀宽为 4 mm）		1				8	
编制		×××	审核	×××	批准	×××	共 页		第 页

3. 制作加工工艺卡

因镗孔刀杆较细，故镗内孔时应选用较小的进给量，由表 1-2 选用切削用量，衬套加工工步及切削用量列于加工工艺卡中，见表 11-3。

表 11-3 加工工艺卡

单位名称		×××		产品名称或代号		零件名称		零件图号	
				×××		衬套		×××	
工序号		程序编号		夹具名称		使用设备		车间	
001		×××		三爪自定心卡盘		数控车床		×××	
工步号	工步内容			刀具号	刀具规格 (mm)	主轴转速 n/(r/min)	进给速度 f/(mm/r)	背吃刀量 a _p /(mm)	备注
1	装夹找正、车端面、钻中心孔				中心钻				手动
2	对刀，设置编程原点为零件右端面中心			T01	25×25				手动
3	钻内孔				φ28 钻头				手动
4	粗车φ45 外圆			T01	25×25	500	0.25	2	自动
5	精车φ45 外圆			T01	25×25	800	0.1	0.5	自动
6	外倒角			T01	25×25	500	0.1	2	自动
7	精镗φ35 内孔			T02	25×25	500	0.15	1.5/1	自动
8	内倒角			T02	25×25	500	0.1	1	自动
	精镗φ35、φ30 内孔			T02	25×25	800	0.1	0.5	自动
	切断			T03	25×25	300	0.05	4	自动
编制		×××		审核		×××	批准		×××
						年 月 日		共 页 第 页	



4. 程序编制

衬套数控加工程序清单见表 11-4。

表 11-4 衬套数控加工程序清单

程序号：O0011		
程序段号	程序内容	程序说明
N10	G40 G97 G99 M03 S500;	取消刀具补偿，设主轴正转，转速为 500 r/min
N20	T0202;	换镗刀
N30	M08;	打开切削液
N40	G41 G00 X28.0 Z2.0 S500;	设置刀具左补偿，快速进刀至精镗 $\phi 35$ 内孔循环起点，设主轴转速为 500 r/min，准备精镗内孔
N50	G90 X31.0 Z-18.0;	精镗 $\phi 35$ 孔切削循环第一次，切削量 1.5mm，设进给量 0.15 mm/r
N60	X34.0;	精镗 $\phi 35$ 孔切削循环第二次，切削量 1.5mm，
N70	G00 X29.0;	快速进刀，准备粗镗 $\phi 30$ 内孔
N80	G01 Z-42.0;	粗镗 $\phi 30$ 内孔
N90	G00 X28.0 Z2.0 S800;	快速退刀，设主轴转速为 800 r/min
N100	G00 X37.02;	快速进刀，准备车内倒角
N110	G01 Z0.0;	慢速进刀至端面，准备车内倒角
N120	X35.02 Z-1.0;	快速退刀，设主轴转速为 800 r/min
N130	Z-18.0 F0.1;	精镗 $\phi 35$ 孔，设进给量 0.1mm/r
N140	X32.013;	精镗 $\phi 35$ 孔端面
N150	X30.013 W-1.0;	车内倒角
N160	Z-42.0;	精镗 $\phi 30$ 内孔
N170	G00 X28.0 Z2.0;	快速退刀
N180	G40 X200.0 Z100.0;	取消刀具半径补偿，快速退刀至换刀点
N190	M09;	关闭切削液
N200	T0101;	换 90° 偏刀
N210	M08;	打开切削液
N220	G42 G00 X46.0 Z2.0;	设置刀具右补偿，快速进刀，准备粗车 $\phi 45$ 外圆
N230	G01 Z-42.0 F0.25;	粗车 $\phi 45$ 外圆，设进给量 0.25 mm/r
N240	G00 X48.0 Z2.0;	快速退刀
N250	X41.0;	快速进刀，准备倒角
N260	G01 Z0.0 F1.0;	慢速进刀至端面，准备倒角
N270	X45.0 Z-2.0 S800;	倒角，设主轴转速 800 r/min，准备精车外圆
N280	Z-42.0;	精车 $\phi 45$ 外圆，设进给量 0.1 mm/r
N290	G40 G00 X200.0 Z100.0;	取消刀具半径补偿，快速退刀至换刀点
N300	M09;	关闭切削液
N310	T0303;	换切刀
N320	M08;	打开切削液
N330	G00 X47.0 Z-42.0 S350;	快速进刀，设主轴转速 350r/min，准备车槽
N340	G01 X41.0 F0.05;	车槽，设进给量 0.05mm/r
N350	X47.0;	退刀
N360	G00 W2.0;	移刀，增量编程方式，准备切左倒角
N370	G01 X45.0;	慢速进刀，准备车左倒角
N380	X41.0 Z-42.0;	车左倒角
N390	X28.0;	切断
N400	G00 X200.0 Z100.0;	快速退至换刀点
N410	M03;	程序结束



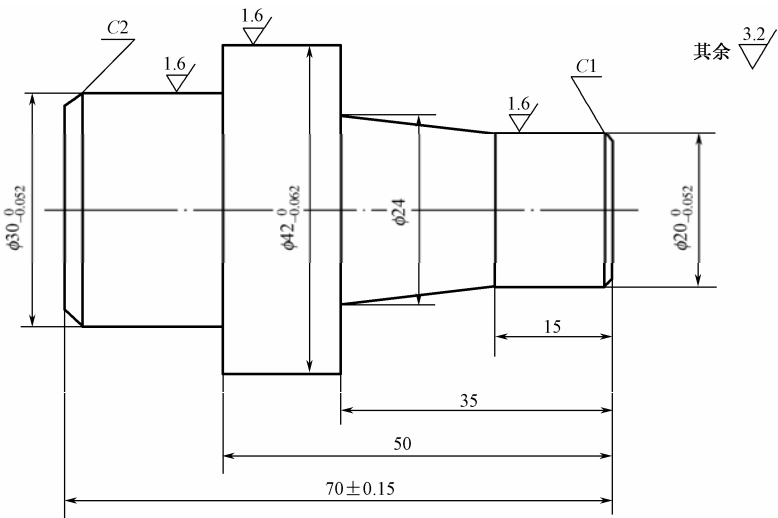
五、任务学习手记（见表 11-5）

表 11-5 任务学习手记

学生姓名		第____组	组名	
同组人姓名				
任务学习与执行过程				
学习体会				
巩固练习				
个人自评	本人签名：_____			
小组评价	组长签名：_____			
教师评价	教师签名：_____			



拓展训练任务



零件名称	销轴	材料	45 钢	毛坯尺寸	$\phi 45 \times 100$
任务内容：制定销轴的加工工艺并编制其数控加工程序					

情境二 成形面数控加工程序的编制

情境描述：

成形面一般由一段或多段圆弧（包括凸圆弧、凹圆弧）组成，在数控车床加工中由圆弧插补指令来完成其加工。成形面加工一般分为粗加工和精加工。圆弧粗加工与一般外圆、锥面的加工不同，若其加工过程中切削用量不均匀并且背吃刀量过大，则容易损坏刀具，故在圆弧粗加工中要考虑加工路线和切削方法。其总体原则是在保证背吃刀量尽可能均匀的情况下，减少走刀次数及空行程。

本章主要介绍以下几方面的内容：

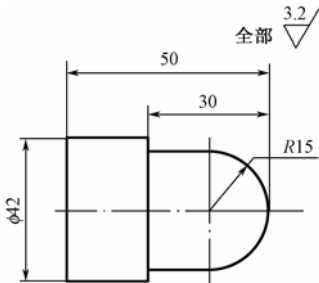
- （1）成形面加工的工艺分析、刀具的选择及切削用量的确定；
- （2）数控车床加工成形面的方法；
- （3）圆弧插补指令编制成形面加工程序及编程中的有关计算。

任务十二 凸圆弧面数控加工程序的编制

一、项目任务书

凸圆弧面数控加工程序的编制项目任务书，见表 12-1。

表 12-1 项目任务书

情境名称	成形面数控加工程序的编制				
学习目标	1. 掌握凸圆弧面的加工工艺 2. 掌握凸圆弧面数控编程技巧与方法				
<div></div>					
零件名称	定位销钉	材料	45 钢	毛坯尺寸	$\phi 45\times 80$
任务内容：制定定位销钉的加工工艺并编制其数控加工程序					
学习指令：圆弧插补指令 G02,G03					
备注					



二、学习导读

1. 成形面加工方法

(1) 粗加工凸圆弧表面

当圆弧表面为凸表面时，通常有两种加工方法，即车锥法（斜线法）和车圆法（同心圆法），两种加工方法如图 12-1 所示。

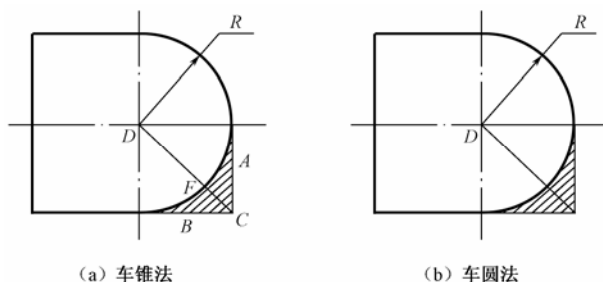


图 12-1 凸圆弧表面加工方法

① 车锥法。车锥法即用车圆锥的方法切除圆弧毛坯余量，如图 12-1 (a) 所示。其加工路线不能超过 A 、 B 两点的连线，否则会伤及圆弧的表面。车锥法一般适用于圆心角小于 90° 的圆弧。

采用车锥法时需计算 A 、 B 两点的坐标值，方法如下：

$$CD = \sqrt{2}R$$

$$CF = \sqrt{2}R - R = 0.414R$$

$$AC = BC = \sqrt{2}CF = 0.586R$$

故 A 点坐标为 $(R - 0.586R, 0)$ ， B 点坐标为 $(R, -0.586R)$ 。

② 车圆法。车圆法即用不同的半径切除毛坯余量。此方法的车刀空行程时间较长，如图 12-2 (b) 所示。车圆法适用于圆心角大于 90° 的圆弧粗车。

(2) 粗加工凹圆弧表面

当圆弧表面为凹表面时，其加工方法有等径圆弧形式（等径不同心）、同心圆弧形式（同心不等径）、梯形形式和三角形形式，如图 12-2 所示。其各自的特点见表 12-2。

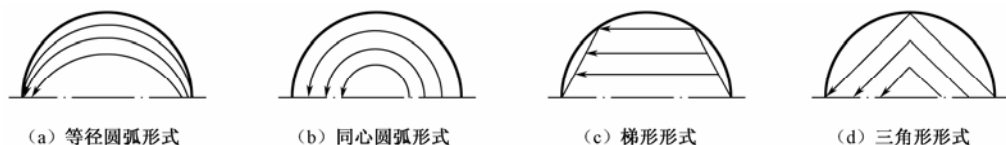


图 12-2 凹圆弧表面加工方法



表 12-2 凹圆弧表面不同加工方法对应的特点

加工方法	特 点
等径圆弧形式	计算和编程最简单，但走刀路线较其他几种方法长
同心圆弧形式	走刀路线短，且精车余量最均匀
梯形形式	切削力分布合理，切削率最高
三角形形式	走刀路线较同心圆弧形式长，但比梯形、等径圆弧形式短

2. 切削用量的选择

由于成形面在粗加工中常常出现切削不均匀的情况，所以背吃刀量应小于外圆及圆锥面加工的背吃刀量。一般粗加工背吃刀量 $a_p=1\sim1.5\text{mm}$ ，精加工背吃刀量 $a_p=0.2\sim0.5\text{mm}$ 。其进给速度也较低，在参考切削用量表时要有所考虑。

3. 刀具的选择

加工成形面，一般使用的刀具为尖形车刀或圆弧形车刀。

(1) 尖形车刀

对于大多数精度要求不高的成形面，一般可选用尖形车刀。选用尖形车刀切削圆弧时，一定要选择合理的副偏角，以防止副切削刃与已加工圆弧面产生干涉。

(2) 圆弧形车刀

圆弧形车刀的主要特点是，构成主切削刃的刀刃形状为一条轮廓误差很小的圆弧，该圆弧刃的每一点都是圆弧形车刀的刀尖，因此刀位点在圆弧的圆心上。圆弧形车刀用于切削内、外表面，特别适宜于车削各种光滑连接的成形面，其加工精度和表面粗糙度较尖形车刀高。在选用圆弧形车刀切削圆弧时，切削刃的圆弧半径应小于或等于零件凹形轮廓上的最小曲率半径，以免发生加工干涉。加工圆弧半径较小的零件时，一般可选用成形圆弧车刀，刀具的圆弧半径等于零件圆弧半径，使用 G01 直线插补指令用直进法加工。

4. 圆弧顺逆的判断

圆弧插补指令分为顺时针圆弧插补指令 G02 和逆时针圆弧插补指令 G03。圆弧插补的顺逆可按图 12-3 所示的方向判断：沿圆弧所在平面（如 XZ 平面）的垂直坐标轴的负方向（-Y）看去，顺时针方向为 G02，逆时针方向为 G03。

数控车床是两坐标机床，只有 X 轴和 Z 轴，按右手定则的方法将 Y 轴也加上去来考虑。观察者让 Y 轴的正向指向自己（即沿 Y 轴的负方向看去），站在这样的位置就可正确判断 XZ 平面上圆弧的顺逆了。

5. 圆弧插补指令G02、G03

圆弧插补指令格式一：

G02/G03 X(U)___Z(W)___R___F___;

其中 X、Z 为圆弧终点的绝对坐标，直径编程时 X 为实际坐标值的 2 倍；

U、W 为圆弧终点相对于圆弧起点的增量坐标；

R 为圆弧半径；

F 为进给量。

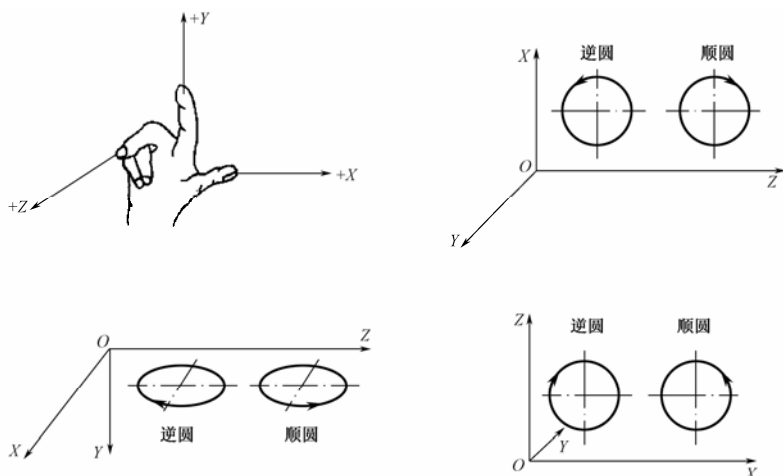


图 12-3 圆弧顺逆的判断

【例 12-1】 如图 12-4 所示 G02 应用实例：
用 R 表示圆心位置。

```
G00 Z2 X20
G01 Z-30.0 F80;
G02 X40.0 Z-40.0 R10 F60,
```

圆弧插补指令格式二：

```
G02/G03 X(U)___Z(W)___I___K___F___;
```

其中 X、Z 为圆弧终点的绝对坐标，直径编程时 X 为实际坐标值的 2 倍；

U、W 为圆弧终点相对于圆弧起点的增量坐标；

I、K 为圆心相对于圆弧起点的增量值（I 为 X 轴方向的增量，K 为 Z 轴方向的增量），直径编程时 I 值为圆心相对于圆弧起点的增量值的 2 倍；当 I、K 与坐标轴方向相反时，I、K 为负值；

F 为进给量。

【例 12-2】 如图 12-4 所示 G02 应用实例：
用 I、K 表示圆心位置，绝对值编程：

```
N03 G00 X20.0 Z2.0;
N04 G01 Z-30.0 F80;
N05 G02 X40.0 Z-40.0 I20.0 K0 F60;
```

用 I、K 表示圆心位置，增量值编程：

```
N03 G00 U-80.0 W-98.0;
N04 G01 U0 W-32.0 F80;
N05 G02 U20.0 W-10.0 I20.0 K0 F60;
```

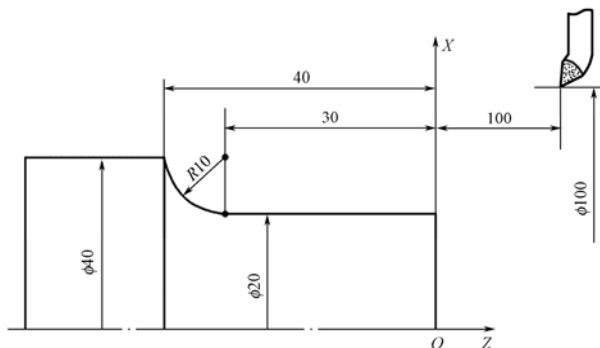


图 12-4 G02 应用实例



说明

- ① 当采用绝对值编程时，圆弧终点坐标为圆弧终点在工件坐标系中的坐标值，用 X 、 Z 表示。当采用增量值编程时，圆弧终点坐标为圆弧终点相对于圆弧起点的增量值，用 U 、 W 表示。
- ② 当用半径值指定圆心位置时，由于在同一半径值的情况下，从圆弧的起点到终点有两个圆弧的可能性，所以为区别二者，规定圆弧圆心角 $\leq 180^\circ$ 时用 “+R” 表示；圆弧圆心角 $> 180^\circ$ 时用 “-R” 表示。
- ③ 用半径值指定圆心位置时，不能描述整圆。

【例 12-3】 如图 12-5 所示 G03 应用实例：

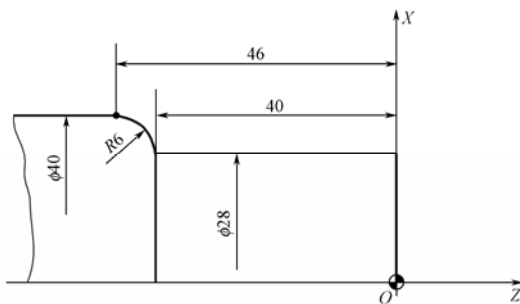


图 12-5 G03 应用实例

用 I 、 K 表示圆心位置，采用绝对值编程：

```
N04 G00 X28.0 Z2.0;  
N05 G01 Z-40.0 F80;  
N06 G03 X40.0 Z-46.0 I0 K-6.0 F60;
```

用 I 、 K 表示圆心位置，采用增量值编程：

```
N04 G00 U-150.0 W-98.0;  
N05 G01 W-42.0 F80;  
N06 G03 U12.0 W-6.0 I0 K-6.0 F60;
```



用 R 表示圆心位置，采用绝对值编程：

```
N04 G00 X28.0 Z2.0;
N05 G01 Z-40.0 F80;
```

三、任务解析

本任务采用车锥法加工。车锥法切削时圆弧要做简单的计算，加工路线不能超过 B、H 两点的连线，如图 12-6 所示。各点坐标见表 12-3。

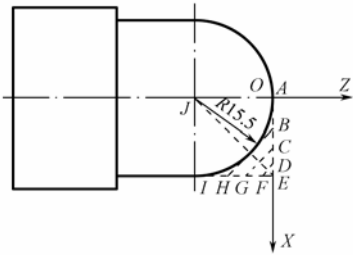


图 12-6 车锥法加工刀尖轨迹图

加工工艺路线：装夹→对刀→设置编程原点为零件右端面中心→粗车外圆→精车外圆→粗车圆弧→精车圆弧。

表 12-3 定位销钉车锥法加工刀尖各点坐标

点坐标	O	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
X	0	0	13	19	25	31	31	31	31	31	0
Z	0	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	-2.5	-5.5	-8.5	-15	-15

四、任务实施（零件加工工艺分析与编程）

1. 工装

采用三爪自定心卡盘夹紧零件的外圆周面。

2. 刀具选择

定位销钉零件由外圆、凸圆弧组成，零件较简单，尺寸精度及表面粗糙度要求不高。其数控加工刀具卡片见表 12-4。

表 12-4 数控加工刀具卡片

产品名称或代号		×××	零件名称		定位销钉		零件图号	×××
序号	刀具号	刀具规格名称		数量	加工表面	刀尖半径 R/ mm	刀尖方位 T	备注
1	T01	硬质合金 90° 偏刀		1	圆柱面、圆弧面			右偏刀
编制		×××	审核	×××	批准	×××	共 页	第 页



3. 制作加工工艺卡

零件的实际表面粗糙度要求不高，圆弧的背吃刀量较大且不均匀，由表 1-2 选用较低的主轴转速。定位销钉加工工步及切削用量列于加工工艺卡中，见表 12-5。

表 12-5 加工工艺卡

单位名称	×××		产品名称或代号		零件名称		零件图号	
			×××		定位销钉		×××	
工序号	程序编号		夹具名称		使用设备		车间	
001	×××		三爪自定心卡盘		数控车床		×××	
工步号	工步内容		刀具号	刀具规格 (mm)	主轴转速 $n/(r/min)$	进给速度 $f/(mm/r)$	背吃刀量 $a_p/(mm)$	备注
1	装夹，找正							手动
2	对刀，设置编程原点为零件右端面中心		T01	25×25				手动
3	粗车外圆		T01	25×25	500	0.25	2	自动
4	精车外圆		T01	25×25	800	0.12	0.5	自动
5	粗车圆弧		T01	25×25	500	0.2	3	自动
6	精车圆弧		T01	25×25	800	0.12	0.5	自动
编制	×××	审核	×××	批准	×××	年 月 日		共 页 第 页

4. 程序编制

定位销钉数控加工程序清单见表 12-6。

表 12-6 定位销钉数控加工程序清单

程序号：O0012		
程序段号	程序内容	程序说明
N10	G40 G97 G99 M03 S500 F0.25;	取消刀具补偿，设主轴正转，转速为 500 r/min
N20	T0101;	用偏刀
N30	M08;	打开切削液
N40	G00 X45.0 Z2.0;	快进
N50	G90 X43.0 Z-50.0;	循环粗车外圆
N60	X39.0 Z-30.0;	
N70	X35.0;	
N80	X31.0;	
N90	G00 X25.0 Z2.0;	快速进刀
N100	G01 Z0.5;	进刀至 D 点
N110	X31.0 Z-2.5;	粗车圆弧至 F 点
N120	G00 Z2.0;	退刀
N130	X19.0;	快进
N140	G01 Z0.5;	进刀至 C 点
N150	X31.0 Z-5.5	粗车圆弧至 G 点
N160	G00 Z2.0;	退刀
N170	X13.0;	快进
N180	G01 Z0.5;	进刀至 B 点



续表

程序号：O0012		
程序段号	程序内容	程序说明
N190	X31.0 Z-8.5;	粗车圆弧至 <i>H</i> 点
N200	G00 Z2.0;	退刀
N210	X0.0;	快进
N220	G01 Z0.5;	进刀至 <i>A</i> 点
N230	G03 X31.0 Z-15.0 R15.5 F0.2 ;	粗车圆弧至 <i>I</i> 点，设进给量为 0.2mm/r
N240	G00 X32.0 Z2.0;	退刀
N250	X0.0 S800;	快进，设主轴转速为 800r/min
N260	G01 Z0.0;	
N270	G03 X30.0 Z-15.0 R15.0 F0.12;	逆时针精车圆弧，设进给量为 0.12mm/r
N280	G01 Z-30.0;	精车外圆
N290	X42.0;	精车外圆 $\phi 42$
N300	Z-50.0;	退刀
N310	X46.0;	回换刀点
M320	G00 X200.0 Z100.0;	程序停止
M330	M30;	

五、任务学习手记（见表 12-7）

表 12-7 任务学习手记

学生姓名		第____组	组名	
同组人姓名				
任务学习与执行过程				
学习体会				
巩固练习				
个人自评	本人签名：_____			
小组评价	组长签名：_____			
教师评价	教师签名：_____			

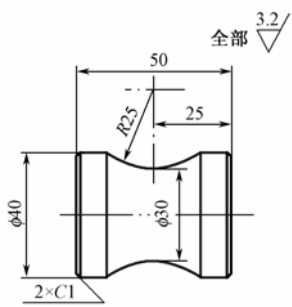


任务十三 凹圆弧面数控加工程序的编制

一、项目任务书

凹圆弧面数控加工程序的编制项目任务书，见表 13-1。

表 13-1 项目任务书

情境名称	成形面数控加工程序的编制				
学习目标	1. 掌握凹圆弧面的加工工艺 2. 掌握凹圆弧面数控编程技巧与方法				
					
零件名称	销轴	材料	45 钢	毛坯尺寸	$\phi 45 \times 80$
任务内容：制定销轴的加工工艺并编制其数控加工程序					
学习指令：圆弧插补指令 G02					
备注					

二、学习导读

参考任务十二中的例 12-1，销轴的凹圆弧面需应用圆弧插补指令 G02 编程。

三、任务解析

该零件加工表面有外圆、圆弧、倒角等，分粗、精加工。

加工工艺路线：装夹→对刀→设置编程原点为零件右端面中心→粗车外圆、右端面倒角→粗车销轴的凹圆弧面→精车凹圆弧面、圆柱面、右端面倒角→车左端面倒角并切断。

采用同心圆弧形式分两次粗车销轴的凹圆弧面，相邻同心圆弧的半径差为 2~3mm 左右，凹圆弧表面留精车余量 0.5mm，精车 R25 圆弧至要求尺寸。计算各点坐标 各点坐标的计算结果见表 13-2，示意图如图 13-1 所示。

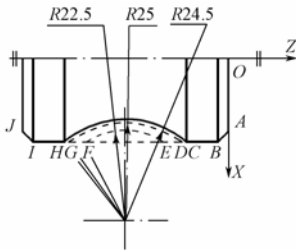


图 13-1 各点坐标图



表 13-2 各点坐标的计算结果

点坐标	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
X	36	40	40	40	40	40	40	40	40	38
Z	1	-1	-10	-10.85	-14.69	-35.3	-39.15	-40	-49	-50

四、任务实施（零件加工工艺分析与编程）

1. 工装

零件采用三爪自定心卡盘装夹，加工完成切断。

2. 刀具选择

数控加工刀具卡片见表 13-3。

表 13-3 数控加工刀具卡片

产品名称或代号		×××		零件名称		销轴		零件图号		×××
序号	刀具号	刀具规格名称		数量	加工表面		刀尖半径 R/ mm	刀尖方位 T		备注
1	T01	硬质合金 90° 偏刀		1	粗、精加工零件外圆、 端面和右倒角		0.4	3		右偏刀
2	T02	硬质合金 60° 尖刀		1	凹圆弧面		0.2	8		
3	T03	硬质合金切刀（刀宽 为 4mm）		1	左倒角及切断					
编制		×××	审核	×××	批准	×××		共 页	第 页	

3. 制作加工工艺卡

销轴加工工步及切削用量列于加工工艺卡中，见表 13-4。

表 13-4 加工工艺卡

单位名称	×××		产品名称或代号			零件名称		零件图号	
			×××			销轴		×××	
工序号	程序编号		夹具名称			使用设备		车间	
001	×××		三爪自定心卡盘			数控车床		×××	
工步号	工步内容		刀具号	刀具规格 (mm)	主轴转速 $n/(r/min)$	进给速度 $f/(mm/r)$	背吃刀量 $a_p/(mm)$	备注	
1	装夹，找正							手动	
2	对刀，设置编程 原点为零件右端 面中心		T01	25×25				手动	
3	粗车外圆		T01	25×25	500	0.25	2	自动	
4	精车外圆		T01	25×25	800	0.15	0.5	自动	
5	粗车圆弧		T02	25×25	500	0.2	2	自动	
6	精车圆弧		T02	25×25	800	0.1	0.5	自动	
7	切断		T03	25×25	300	0.05	4	自动	
编制	×××	审核	×××	批准	×××	年 月 日		共 页	第 页



4. 程序编制

销轴数控加工程序清单见表 13-5。

表 13-5 销轴数控加工程序清单

程序号: O0013		
程序段号	程序内容	程序说明
N10	G40 G97 G99 M03 S500 F0.25;	取消刀具补偿, 主轴正转转速 500r/min
N20	T0101;	用 T01 刀, 进给量 0.25mm/r
N30	M08;	打开切削液
N40	G42 G00 X41.0 Z2.0;	快速进刀, 设刀具补偿
N50	G01 Z-54.0;	粗车外圆
N60	G00 X46.0;	退刀
N70	Z1.0;	精车外圆
N80	X38.0;	快进
N90	G01 Z0 S800 Z0 S800;	进刀, 设主轴转速 800r/min
N100	G01 X40.0 Z-1.0;	倒角
N110	Z-54.0 F0.15 ;	精车外圆
N120	G00 G40 X200.0 Z100.0;	返回换刀点
N130	M09;	冷却液关
N135	M05;	主轴停
N140	T0202;	换刀
N150	M03 S500;	主轴正转, 转速 500r/min
N160	M08;	冷却液开
N170	G00 G42 X41.0 Z-14.69;	快进, 取消刀补
N180	G01 X40.0;	进刀至 E 点
N190	G02 X40.0 Z-35.3 R22.5;	粗车圆弧至 F 点
N200	G01 X41.0;	退刀
N210	G00 Z-10.85 Z-10.85;	快退
N220	G01 X40.0;	进刀至 D 点
N230	G02 X40.0 Z-39.15 R24.5;	粗车圆弧至 G 点
N240	G01 X41.0;	退刀
N250	G00 Z-10.0;	快退
N260	G01 X40.0 S800;	进刀至 C 点, 主轴转速 800r/min
N270	G02 X40.0 Z-40.0 R25.0 F0.1;	精车圆弧至 H 点, 进给量 0.1mm/r
N275	G00 G40 X200.0 Z100.0;	快速返回换刀点
N280	M09;	冷却液关
N285	M05;	主轴停
N290	T03;	换刀
N300	M03 S300 F0.05;	主轴正转, 转速 300r/min, 进给量 0.05mm/r
N310	M08;	冷却液开
N320	G00 X41.0 Z-54.0;	快进



续表

程序号：O0013		
程序段号	程序内容	程序说明
N330	G01 X38.0;	切槽
N340	G00 X41.0;	退刀
N350	Z-53.0;	移刀
N360	G01 X40.0;	进刀至 I 点
N370	X38.0 Z-54.0 ；	车左侧倒角
N380	G01 X0.0;	切断
N390	G40 G01 X45.0;	取消切换
N400	G00 X200.0 Z100.0;	快速返回换刀点
N410	M30;	程序结束

五、任务学习手记（见表 13-6）

表 13-6 任务学习手记

学生姓名		第____组	组名	
同组人姓名				
任务学习 与执行过程				
学习体会				
巩固练习				
个人自评	本人签名：_____			
小组评价	组长签名：_____			
教师评价	教师签名：_____			

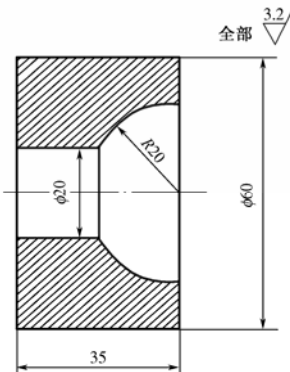


任务十四 内圆弧面数控加工程序的编制

一、项目任务书

内圆弧面数控加工程序的编制项目任务书，见表 14-1。

表 14-1 项目任务书

情境名称	成形面数控加工程序的编制				
学习目标	1. 掌握内圆弧面的加工工艺 2. 掌握内圆弧面数控编程技巧与方法				
<div></div>					
零件名称	凹模	材料	45 钢	毛坯尺寸	$\phi 65 \times 70$
任务内容：制定凹模的加工工艺并编制其数控加工程序					
学习指令：圆弧插补指令 G02,G03，简单固定循环指令（G90）					
备注					

二、学习导读

该零件由外圆、孔和内圆弧组成，表面粗糙度有一定要求。对内外表面分别进行粗、精加工。对于本任务中的内圆弧表面，采用梯形形式的车削方式。利用简单固定循环指令 G90 粗车内圆弧至精加工余量。

三、任务解析

由于毛坯为实体，故需手动钻中心孔、钻直径 18 孔后再进行编程加工。

加工工艺路线：装夹→手动平右端面、钻中心孔→对刀、设置编程原点为零件右端面中心→钻直径 18 孔→粗车外圆、右端面→精车外圆、右端面→粗车凹模内圆弧面→精车凹模内圆弧面→车左端面并切断。

利用梯形形式进行车削时各点坐标如图 14-1 所示。各点坐标值见表 14-2。

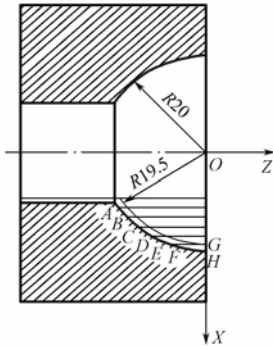


图 14-1 各点坐标图



表 14-2 各点坐标值

点坐标	A	B	C	D	E	F	G	H
X	20	22	26	30	34	38	39	40
Z	-17.32	-16.10	-14.53	-12.46	-9.55	-4.39	0	0

四、任务实施（零件加工工艺分析与编程）

1. 工装

采用三爪自定心卡盘夹紧零件的外圆周面。

2. 刀具选择

数控加工刀具卡片见表 14-3。

表 14-3 数控加工刀具卡片

产品名称或代号		×××		零件名称	凹模		零件图号	×××
序号	刀具号	刀具规格名称		数量	加工表面	刀尖半径 R/ mm	刀尖方位 T	备注
1		中心钻		1				
2		φ18 钻头		1				
3	T01	硬质合金 90° 偏刀		1	零件外圆、右端面	0.4	3	右偏刀
4	T02	硬质合金不通孔内孔镗刀		1	内孔及内圆弧	0.4	2	右偏刀
5	T03	硬质合金切刀（刀宽为 4mm）		1	左端面			
编制		×××	审核	×××	批准	×××	共 页	第 页

3. 制作加工工艺卡

凹模加工工步及切削用量列于加工工艺卡中，见表 14-4。

表 14-4 加工工艺卡

单位名称	×××	产品名称或代号		零件名称		零件图号	
		×××		凹模		×××	
工序号	程序编号	夹具名称		使用设备		车间	
001	×××	三爪自定心卡盘		数控车床		×××	
工步号	工步内容	刀具号	刀具规格 (mm)	主轴转速 n/(r/min)	进给速度 f/(mm/r)	背吃刀量 a _p /(mm)	备注
1	装夹，找正、手动钻中心孔		中心钻				手动
2	钻直径 18 孔		φ18 钻头				手动
3	对刀，设置编程原点为零件右端面中心	T01	25×25				手动



续表

单位名称	×××	产品名称或代号			零件名称		零件图号	
		×××			凹模		×××	
工序号	程序编号	夹具名称			使用设备		车间	
001	×××	三爪自定心卡盘			数控车床		×××	
工步号	工步内容	刀具号		刀具规格 (mm)	主轴转速 $n/(r/min)$	进给速度 $f/(mm/r)$	背吃刀量 $a_p/(mm)$	备注
4	粗车外圆	T01		25×25	500	0.25	2	自动
5	精车外圆	T01		25×25	800	0.15	0.5	自动
6	粗车内孔圆弧	T02		25×25	500	0.2	2	自动
7	精车内孔圆弧	T02		25×25	800	0.1	0.5	自动
8	切槽、切断	T03		25×25	300	0.05	4	自动
编制	×××	审核	×××	批准	×××	年 月 日		共 页 第 页

4. 程序编制

凹模数控加工程序清单见表 14-5。

表 14-5 凹模数控加工程序清单

程序号：O0014		
程序段号	程序内容	程序说明
N10	G40 G97 G99 M03 S500;	取消刀具补偿，主轴正转，转速为 500 r/min
N20	T01;	换 90° 偏刀于 T01 刀位
N30	M08;	打开切削液
N40	G42 G00 X61.0 Z2.0;	快进，设置刀具补偿
N50	G01 Z-39.0 F0.25 ;	粗车外圆
N70	G00 X65.0 Z2.0;	退刀
N80	X60.0 S800;	进刀，转速为 800 r/min
N90	G01 Z -39.0 F0.15;	精车外圆，进给量为 0.15 mm/r
N100	G40 G01 X65.0;	退刀，取消刀具补偿
N110	G00 X200.0 Z100.0;	快速返回换刀点
N120	M09;	冷却液关
N125	M05;	主轴停
N130	T0202;	换内孔镗刀
N140	M03 S500 F0.2;	主轴正转，转速 500r/min
N150	M08;	冷却液开
N160	G00 X18.0 Z2.0;	快进
N165	G90 X19.0 Z-35;	粗车内孔
N170	X22.0 Z-16.10;	循环粗车内圆弧面至 B 点
N180	X26.0 Z-14.53 ;	循环粗车内圆弧面至 C 点
N190	X30.0 Z-12.46;	循环粗车内圆弧面至 D 点
N200	X34.0 Z-9.55;	循环粗车内圆弧面至 E 点
N210	X38.0 Z-4.39;	循环粗车内圆弧面至 F 点
N220	G41 G01 X39.0 Z0.0;	进刀，设刀具补偿
N230	G03 X22.0 Z-16.1 R19.5;	粗车圆弧
N240	G00 Z2.0 S800;	退刀，转速为 800r/min
N245	X40.0;	退刀
N250	G01 Z0.0;	进刀



续表

程序号：O0014		
程序段号	程序内容	程序说明
N255	G03 X20.0 Z-17.32 R20.0 F0.1；	精车圆弧，进给量为 0.1mm/r
N260	G01 Z-35.0；	精车孔
N270	G40 G01 X18.0；	退刀，取消刀具补偿
N280	G00 Z2.0；	快退
N290	G00 X200.0 Z100.0；	快速返回换刀点
N300	M09；	冷却液关
N305	M05；	主轴停
N310	T0303；	换切刀
N320	M03 S300 F0.05；	正转，转速 300r/min，进给量为 0.05 mm/r
N330	M08；	冷却液开
N340	G00 X65.0 Z-39.0；	快进
N350	G01 X0.0 ；	切断
N360	G00 X200.0；	退刀
N370	Z100.0；	退刀
N380	N370 M30；	程序结束

五、任务学习手记（见表 14-6）

表 14-6 任务学习手记

学生姓名		第____组	组名	
同组人姓名				
任务学习与执行过程				
学习体会				
巩固练习				
个人自评	本人签名：_____			
小组评价	组长签名：_____			
教师评价	教师签名：_____			

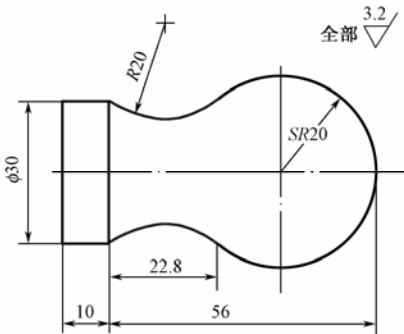


任务十五 成形面Ⅰ数控加工程序的编制

一、项目任务书

手柄数控加工程序的编制项目任务书，见表 15-1。

表 15-1 项目任务书

情境名称	成形面类零件数控加工程序的编制				
学习目标	1. 掌握手柄的加工工艺 2. 掌握手柄的数控编程技巧与方法				
<div></div>					
零件名称	手柄	材料	45 钢	毛坯尺寸	$\phi 45 \times 100$
任务内容：制定手柄的加工工艺并编制其数控加工程序					
学习指令：圆弧插补指令 G02,G03					
备注					

二、学习导读

该零件由外圆柱面、顺圆弧、逆圆弧等表面组成，对于 $SR20$ 的球面采用车锥法加工，对于 $R20$ 的成形面采用同心圆弧法加工。零件尺寸标注完整，其中尺寸精度和表面粗糙度要求不高。零件材料为 45 钢，切削加工性能较好，无热处理和硬度要求。

三、任务解析

加工工艺路线：装夹→对刀→设置编程原点为零件右端面中心→利用车锥法粗车 $SR20$ 的球面，去除毛坯→利用同心圆弧法粗车 $R20$ 的球面去除毛坯→精车圆弧、外圆至图纸要求尺寸→切槽、切断。

如图 15-1 所示， OA 凸圆弧短，由于毛坯余量较大，故首先采用车锥法分四刀切削大部分余量，切削圆锥时，加工路线不能超过 H 、 N 两点的连线，切削时分四刀，背吃刀量 3mm。

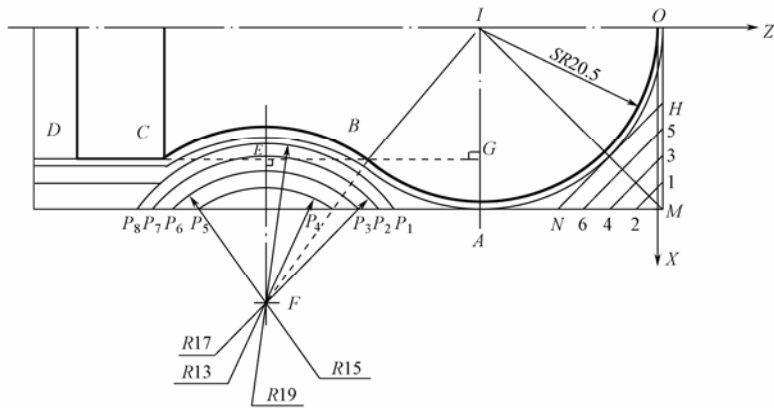


图 15-1 加工路线示意图

根据车锥法计算得：

H 点坐标 $(R-0.586R, 0) = (20.5-0.586\times 20.5, 0) = (8.487, 0)$;

N 点坐标 $(R, -0.586R) = (20.5, -0.586\times 20.5) = (20.5, -12.013)$ 。

车锥法加工时各点坐标值见表 15-2。

表 15-2 各点坐标值

点坐标	M	1	2	3	4	5	6	H	N
X	41	35	41	29	41	23	41	16.97	41
Z	0.5	0.5	-2.5	0.5	-5.5	0.5	-8.5	0.5	-12.01

见图 15-1， ABC 凹圆弧段采用同心圆弧形式分四刀进行切削，相邻每段圆弧每次切削背吃刀量 $a_p=2\text{mm}$ ，每段圆弧进刀点为 P_1 、 P_2 、 P_3 、 P_4 ，终点分别为 P_5 、 P_6 、 P_7 、 P_8 ，其坐标及精加工时各点的坐标值见表 15-3。

表 15-3 各点坐标值

点坐标	B	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	P_6	P_7	P_8
X	30	41	41	41	41	23	41	16.97	41
Z	-33.2	-29.06	-31.58	-34.33	-37.56	-51.63	-54.87	-57.62	-60.14

见图 15-1，分两刀粗车直径 30 外圆，再自右向左粗车轮廓，走刀路线为 $O\rightarrow A\rightarrow B\rightarrow C\rightarrow D$ ，精加工时自右向左走刀，走刀路线为 $O\rightarrow A\rightarrow B\rightarrow C\rightarrow D$ 。

精车时的编程方法可采用半径 R 指定圆心位置方式，也可采用 I 、 K 指定圆心位置方式。

当采用半径 R 指定圆心位置方式时，成形面上各点的坐标值和相应的编程指令见表 15-4。

表 15-4 各点坐标值

圆弧	圆弧起点坐标	圆弧终点坐标	半径	指令
OAB 段	$O(0, 0)$	$B(30, -33.2)$	$R=20$	$G03\ X30\ Z-33.2\ R20;$
BC 段	$B(30, -33.2)$	$C(30, -56)$	$R=20$	$G02\ X30\ Z-56\ R20;$



当采用 I、K 指定圆心位置方式时，*OAB* 段圆弧：起点坐标 *O* (0,0)，终点坐标 *B* (30, -33.2)，圆心坐标相对于圆弧起点的增量值为 “I0, K-20”。

BC 段圆弧：起点坐标 *B* (30, -33.2)，终点坐标 *C* (30, -56)，圆心坐标相对于圆弧起点的增量值为 “I32.86, K-11.4”。

```
指令：G03 X30 Z -33.2 I0 K -20 F0.1；
      G02 X30 Z -56 I32.86 K -11.4 F0.1；
```

四、任务分析（零件加工工艺分析与编程）

1. 工装

采用三爪自定心卡盘夹紧零件的外圆周面。

2. 刀具选择

数控加工刀具卡片见表 15-5。

表 15-5 数控加工刀具卡片

产品名称或代号		×××		零件名称		手柄		零件图号	×××
序号	刀具号	刀具规格名称		数量	加工表面	刀尖半径 R/ mm		刀尖方位 <i>T</i>	备注
1	T01	硬质合金 93° 偏刀， 副偏角为 35°		1	粗、精加工零件外 圆、端面	0.4		3	右偏刀
2	T02	硬质合金 60° 尖刀		1	加工圆弧面	0.4		8	
3	T03	硬质合金切刀（刀宽为 4mm）		1				8	
编制		×××	审核	×××	批准	×××		共 页	第 页

3. 制作加工工艺卡

手柄加工工步及切削用量列于加工工艺卡中，见表 15-6。

表 15-6 加工工艺卡

单位名称	×××	产品名称或代号		零件名称		零件图号	
		×××		手柄		×××	
工序号	程序编号	夹具名称		使用设备		车间	
001	×××	三爪自定心卡盘		数控车床		×××	
工步号	工步内容	刀具号	刀具规格 (mm)	主轴转速 <i>n</i> /(r/min)	进给速度 <i>f</i> /(mm/r)	背吃刀量 <i>a_p</i> /(mm)	备注
1	装夹，找正						手动
2	对刀，设置编程原点 为零件右端面中心	T01	25×25				手动
3	粗车外圆	T01	25×25	500	0.2	≤2.5	自动
4	精车外圆	T01	25×25	800	0.12	0.5	自动



续表

单位名称	×××		产品名称或代号		零件名称		零件图号	
			×××		手柄		×××	
工序号	程序编号		夹具名称		使用设备		车间	
001	×××		三爪自定心卡盘		数控车床		×××	
工步号	工步内容		刀具号	刀具规格 (mm)	主轴转速 n/(r/min)	进给速度 f/(mm/r)	背吃刀量 a _p /(mm)	备注
5	粗车圆弧		T02	25×25	400	0.2	2	自动
6	精车圆弧		T02	25×25	800	0.12	0.5	自动
7	切槽、切断		T03	25×25	300	0.05	4	自动
编制	×××	审核	×××	批准	×××	年 月 日	共 页	第 页

4. 程序编制

手柄数控加工程序清单见表 15-7。

表 15-7 手柄数控加工程序清单

程序号：O0015		
程序段号	程序内容	程序说明
N05	G40 G97 G99 M03 S600 F0.2;	取消刀具补偿，设主轴正转转速 500r/min
N10	T001;	1 号刀，进给量为 0.2mm/r
N15	M08;	打开冷却液
N20	G00 X41.0 Z2.0;	快进至进刀点
N25	G01 Z-70.0;	粗车外圆
N30	G00 X46.0 Z2.0;	退刀
N35	X35.0	车锥法车削圆弧
N40	G01 Z0.5;	
N45	X41.0 Z-2.5;	
N50	G00 Z2.0;	
N55	X29.0	
N60	G01 Z0.5;	
N65	X41.0 Z-5.5;	
N70	G00 Z2.0;	
N75	X23.0;	
N80	G01 Z0.5;	
N85	X41.0 Z-8.5;	
N90	G00 Z2.0;	
N100	X17.0;	
N105	G01 X41.0 Z-11.5;	
N110	G00 X200.0 Z100.0;	快速返回换刀点
N115	M09;	冷却液关闭
N118	M05;	主轴停
N120	T0202;	换 60° 尖刀
N125	M03 S400 F0.2;	主轴转速 400 r/min，进给量为 0.2 mm/r
N130	M08;	冷却液开
N135	G00 X43.0 Z-37.56;	快进
N140	G01 C41.0 ;	进刀至 P ₄ 点
N145	G02 X41.0 Z-51.63 R13.0	粗车圆弧至 P ₅ 点
N150	G00 X43.0;	退刀



程序号：O0015		
程序段号	程序内容	程序说明
N155	Z-34.33	移刀
N160	G01 X41.0;	进刀至 P_3 点
N165	G02 X41.0 Z-54.87 R15.0;	粗车圆弧至 P_6 点
N170	G00 X43.0;	退刀
N175	Z-31.58;	移刀
N180	G01 X41.0;	进刀至 P_2 点
N185	G02 X41.0 Z-57.62 R17.0	粗车圆弧至 P_7 点
N190	G00 X43.0;	退刀
N200	Z-29.06;	移刀
N210	G01 X41.0;	进刀至 P_1 点
N215	G02 X41.0 Z-60.14 R19.0;	粗车圆弧至 P_8 点
N220	G00 Z-54.0	退刀
N225	G00 X37.0;	进刀
N230	G0 Z-70.0;	粗车外圆
N235	G00 X46.0;	退刀
N240	Z-54.0;	退刀
N245	X32.0;	进刀
N250	G01 Z-70.0;	粗车外圆
N255	G00 X200.0 Z100.0;	快速返回换刀点
N260	M09 M05;	冷却液关，主轴停
N265	T0101;	换偏刀
N270	M03 S400 F0.2;	主轴转速 400r/min，进给量为 0.2mm/r
N275	M08;	冷却液开
N280	G00 X0.0 Z2.0;	快进
N285	G42 G01 Z0.5;	进刀，加刀具补偿
N290	G03 X31.0 Z-33.2 R20.5;	粗车凸圆弧
N300	G02 X31.0 Z-56.0 R19.5;	粗车凹圆弧
N305	G01 Z-70.0	粗车外圆
N310	G00 X43.0 Z2.0;	退刀
N315	X0.0;	进刀
N320	G01 Z0.0 S800;	慢速进刀，主轴转速 800r/min
N325	G03 X30.0 Z-33.2 R20.0 F0.12;	精车圆弧，进给量为 0.12mm/r
N330	G02 X30.0 Z-56.0 R20.0;	
N340	G01 Z-71.0;	粗车外圆
N350	G40 G01 X45.0;	取消刀具补偿
N355	G00 X200.0 Z100.0;	快速返回换刀点
N360	M09;	冷却液关
N365	T0303;	换 3 号切刀
N370	M03 S300 F0.05;	主轴转速 300r/min，进给量为 0.05 mm/r
N375	M08;	冷却液开
N380	G00 X31.0 Z-70.0;	快进
N385	G01 X0.0;	切断
N390	G00 X200.0 Z100.0;	快退
N400	M30;	程序结束



五、任务学习手记（见表 15-8）

表 15-8 任务学习手记

学生姓名		第____组	组名	
同组人姓名				
任务学习与执行过程				
学习体会				
巩固练习	试绘制本任务中刀尖运动轨迹图			
个人自评	本人签名：_____			
小组评价	组长签名：_____			
教师评价	教师签名：_____			

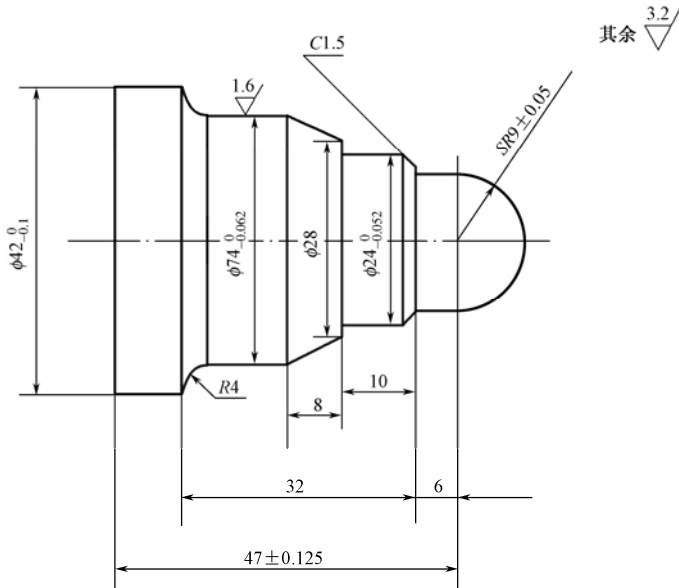


任务十六 成形面Ⅱ数控加工程序的编制

一、项目任务书

阶梯轴数控加工程序的编制项目任务书，见表 16-1。

表 16-1 项目任务书

情境名称	成形面类零件数控加工程序的编制				
学习目标	1. 掌握阶梯轴的加工工艺 2. 掌握圆柱面、圆锥面和圆弧面数控编程技巧与方法				
<div></div>					
零件名称	定位销	材料	45 钢	毛坯尺寸	φ45×90
任务内容：制定定位销的加工工艺并编制其数控加工程序					
学习指令：圆弧插补指令 G02,G03					
备注					

二、学习导读

利用圆弧插补指令 G02、G03，粗车循环指令 G71，精车循环指令 G70 编程加工凸模零件。

三、任务解析

定位销零件的形状变化具有单调性，因此可利用粗车循环指令 G71、精车循环指令 G70 进行编程加工。



加工工艺路线：装夹→对刀→设置编程原点为零件右端面中心→（循环）粗加工零件外轮廓→（循环）精加工零件外轮廓→切断。

零件图中具有公差值的尺寸，在编程时取平均值，故 $\phi 24$ 、 $\phi 34$ 、 $\phi 42$ 外圆的编程尺寸为 23.974、33.969、41.95；圆弧半径 SR9 的编程尺寸为 9；长度 47 的编程尺寸为 47。

四、任务实施（零件加工工艺分析与编程）

1. 工装

采用三爪自定心卡盘夹紧零件的外圆周面。

2. 刀具选择

数控加工刀具卡片见表 16-2。

表 16-2 数控加工刀具卡片

产品名称或代号		×××		零件名称		定位销		零件图号	×××
序号	刀具号	刀具规格		数量	加工表面	刀尖半径 R/ mm		刀尖方位 T	备注
1	T01	90° 硬质合金偏刀		1	粗车外轮廓	0.4		3	
2	T02	90° 硬质合金偏刀		1	精车外轮廓	0.2		3	
3	T03	硬质合金切刀（刀宽为 4mm）		1	切断				
编制		×××	审核	×××	批准	×××		共 页	第 页

3. 制作加工工艺卡

定位销加工工步及切削用量列于加工工艺卡中，见表 16-3。

表 16-3 加工工艺卡

单位名称		×××		产品名称或代号			零件名称		零件图号	
				×××			定位销		×××	
工序号		程序编号		夹具名称			使用设备		车间	
001		×××		三爪自定心卡盘			数控车床		×××	
工步号	工步内容			刀具号		刀具规格 (mm)	主轴转速 <i>n</i> /(r/min)	进给速度 <i>f</i> /(mm/r)	背吃刀量 <i>a_p</i> /(mm)	备注
1	装夹，找正									手动
2	对刀，设置编程原点为零件右端面中心			T01		25×25				手动
3	循环粗车外轮廓，留余量 0.5mm			T01		25×25	600	0.25	1.5	自动
4	精车各表面至尺寸要求			T02		25×25	800	0.15	0.25	自动
5	切断			T03		25×25	300	0.05	4	自动
编制		×××		审核	×××	批准	×××		年 月 日	
							年 月 日		共 页	第 页



4. 程序编制

定位销数控加工程序清单见表 16-4。

表 16-4 定位销数控加工程序清单

程序号：O0016		
程序段号	程序内容	程序说明
N10	G40 G99 M03 S600 F0.25;	取消刀补，主轴正转 600r/min，进给量为 0.25mm/r
N20	T0101;	用 T01
N30	M08;	打开切削液
N40	G00 X45.0 Z2.0;	快速进刀，准备粗车轮廓
N50	G71 U1.5 R0.5;	背吃刀量 1.5mm，退刀量 0.5mm
N60	G71 P70 Q200 U0.5 W0.05;	循环粗车轮廓 N70~N200；X 方向切削余量 0.5mm；Z 方向切削余量 0.05mm；
N70	G00 G42 X0;	快速进刀，刀具补偿
N80	G01 Z0.0;	进刀
N90	G03 X18.0 Z-9.0 R9;	车削圆弧
N100	G01 Z-15.0;	车削外圆
N110	X20.974;	车 $\phi 24$ 端面
N120	X23.974 Z-16.5;	倒角
N130	Z-25.0 ;	车 $\phi 24$ 外圆
N140	X28.0;	车 $\phi 28$ 端面
N150	X33.969 Z-33.0;	车圆锥面
N160	Z-43.0;	车 $\phi 34$ 外圆
N170	G02 X41.95 Z-47.0 R4.0;	车 R4 圆弧
N180	G01 Z-60.5;	车 $\phi 42$ 外圆
N190	X45.0;	退刀
N200	G01 G40 X46.0;	退刀，取消刀补
N210	G00 X200.0 Z100.0;	快速返回换刀点
N220	M09 ;	关闭冷却液
N230	T0202;	换 T02 号刀
N240	M03 S800 0.15;	主轴正转 800r/min，进给量为 0.15mm/r
N250	M08;	冷却液打开
N260	G00 X45.0 Z2.0;	快速进刀
N270	G70 P70 Q200;	精车轮廓
N280	G00 X200.0 Z100.0;	快速返回换刀点
N290	M09;	关闭冷却液
N300	T0303;	换 T03 号刀
N310	M03 S300 F0.05;	主轴正转 300r/min，进给量 0.05mm/r
N320	M08;	冷却液打开
N330	G00 X43.0 Z-60;	快速进刀
N340	G01 X0.0;	切断
N350	G00 X200.0 Z100.0;	快速退刀，返回换刀点
N360	M30;	程序结束



五、任务学习手记（见表 16-5）

表 16-5 任务学习手记

学生姓名		第____组	组名	
同组人姓名				
任务学习与执行过程				
学习体会				
巩固练习				
个人自评	本人签名：_____			
小组评价	组长签名：_____			
教师评价	教师签名：_____			



拓展训练任务

Technical drawing of a shaft with the following dimensions and tolerances:

- Total length: 73
- Left diameter: $\phi 50$
- Middle diameter: $\phi 14_{-0.03}^0$
- Right diameter: $\phi 26_{+0.03}^0$
- Fillet radius: SR10
- Surface finish: 3.2
- Length segments: 30 \pm 0.1, 15, 15 \pm 0.25

零件名称	销轴	材料	45 钢	毛坯尺寸	$\phi 60 \times 100$
------	----	----	------	------	----------------------

任务内容：制定销轴的加工工艺并编制其数控加工程序

情境三 螺纹（面）数控加工程序的编制

情境描述：

在数控车床上加工螺纹，编程指令有单行程螺纹切削指令 G32、非整数导程螺纹切削指令 G33、变导程螺纹切削指令 G34、螺纹切削循环指令 G92、螺纹切削复合循环指令 G76。

本章主要介绍以下几方面的内容：

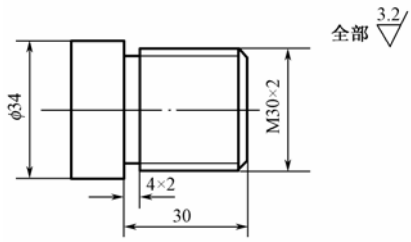
- （1）三角形螺纹加工的尺寸计算和切削用量的选择；
- （2）数控车床加工螺纹指令 G32、G92 和 G76；
- （3）数控车床加工螺纹的程序编制。

任务十七 外圆柱螺纹（面）数控加工程序的编制

一、项目任务书

外圆柱螺纹面数控加工程序的编制项目任务书，见表 17-1。

表 17-1 项目任务书

情境名称	螺纹（面）数控加工程序的编制					
学习目标	1. 掌握外圆柱螺纹面加工工艺的制定 2. 掌握外圆柱螺纹面数控编程技巧与方法					
<div></div>						
零件名称	丝堵	材料	45 钢	毛坯尺寸	$\phi 40 \times 60$	
任务内容：制定丝堵螺纹（面）加工工艺并编制丝堵零件中螺纹（面）的数控加工程序（螺纹段外径已车至 $\phi 29.8\text{mm}$ ， 4×2 的退刀槽已加工）						
学习指令：螺纹加工指令 G32，螺纹循环加工指令 G92						
备注						



二、学习导读

1. 螺纹的牙型和螺纹的参数

(1) 牙型:沿螺纹轴线剖切的截面内, 螺纹牙两侧边的夹角称为螺纹的牙型。常见螺纹的牙型有三角形、梯形、锯齿形、矩形等。

(2) 牙型角 α : 螺纹牙型上相邻两牙侧间的夹角。普通螺纹的牙型角为 60° , 英制螺纹的牙型角为 55° , 梯形螺纹的牙型角为 30° 。

(3) 公称直径 (D/d): 指螺纹大径的基本尺寸。螺纹大径 (d 或 D) 亦称外螺纹顶径或内螺纹底径。

(4) 螺纹小径 (D_1/d_1): 亦称外螺纹底径或内螺纹顶径。

(5) 螺纹中径 (D_2/d_2): 一个假想圆柱的直径, 该圆柱剖切面牙型的沟槽和凸起宽度相等。同规格的外螺纹中径和内螺纹中径尺寸相等。

(6) 螺距 (P): 螺纹上相邻两牙在中径上对应点间的轴向距离。

(7) 导程 (L): 一条螺旋线上相邻两牙在中径上对应点间的轴向距离。

(8) 理论牙型高度 (h): 在螺纹牙型上牙顶到牙底之间, 垂直于螺纹轴线的距离。

2. 螺纹加工尺寸分析

车削外螺纹时, 零件材料因受车刀挤压而使外径胀大, 因此实际切削时螺纹部分的零件外径应比螺纹的公称直径小 $0.2\sim 0.4\text{mm}$ 。一般取 $d_{\text{实}}=d-0.1P$ 。在实际生产中, 为计算方便, 不考虑螺纹车刀的刀尖半径 r 的影响, 一般取螺纹牙型高度 $h=0.65P$, 故螺纹实际小径 $d_{1\text{实}}=d-2h=d-1.3P$ 。

由于车削螺纹时起始需要一个加速过程, 结束前有一个减速过程, 因此螺纹两端必须设置足够的升速进刀段 δ_1 和减速退刀段 δ_2 , 如图 17-1 所示。在实际生产中, 一般取 $\delta_1=2\sim 5\text{mm}$, 大螺距和高精度的螺纹取值大一些; δ_2 为退刀槽宽度值的一半左右, 一般取 $\delta_2=1\sim 3\text{mm}$ 。若螺纹收尾处没有退刀槽, 则收尾处的形状与数控系统有关, 一般按 45° 退刀收尾。

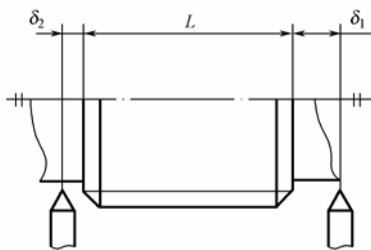


图 17-1 进刀段和退刀段

3. 螺纹车削时进刀方法的选择

在数控车床上加工螺纹时的进刀方法通常有直进法和斜进法。当螺距 $P<3\text{mm}$ 时, 一般采用直进法 (如图 17-2 (a) 所示); 当螺距 $P\geq 3\text{mm}$ 时, 一般采用斜进法 (如图 17-2 (b) 所示)。

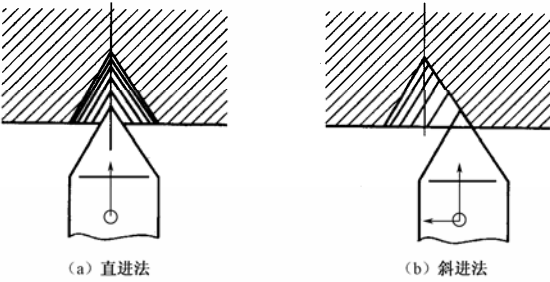


图 17-2 进刀方法

4. 切削用量的选用

(1) 主轴转速 n

在数控车床上加工螺纹时，主轴转速受数控系统、螺纹导程、刀具、零件尺寸和材料等多种因素的影响。不同的数控系统，有不同的推荐主轴转速范围。大多数经济型数控车床在车削螺纹时，推荐主轴转速为

$$n \leq 1200/P - K$$

式中 P —零件的螺距（mm）；
 K —保险系数，一般取 80；
 n —主轴转速（r/min）。

例如，加工 $M30 \times 2$ 普通外螺纹时，主轴转速 $n = 1200/P - K = (1200/2 - 80) \text{ r/min} = 520 \text{ r/min}$ 。根据零件材料、刀具等因素可选取 $n = 400 \sim 500 \text{ r/min}$ 。

(2) 背吃刀量 a_p

车削螺纹时应遵循背吃刀量递减的分配方式，即后一刀的背吃刀量不能超过前一刀的背吃刀量，否则会因切削面积的增加、切削力过大而损坏刀具。但为了提高螺纹的表面粗糙度，在用硬质合金螺纹车刀时，最后一刀的背吃刀量不能小于 0.1mm。常用螺纹加工走刀次数与分层切削余量见表 17-2。

表 17-2 常用螺纹加工走刀次数与分层切削余量

公制螺纹							
螺距	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0
牙深	0.65	0.975	1.3	1.625	1.95	2.275	2.6
切深	1.3	1.95	2.6	3.25	3.9	4.55	5.2
走刀次数和切削余量	1 次	0.7	0.8	0.9	1.0	1.2	1.5
	2 次	0.4	0.6	0.6	0.7	0.7	0.8
	3 次	0.2	0.4	0.6	0.6	0.6	0.6
	4 次		0.15	0.4	0.4	0.4	0.6
	5 次			0.1	0.4	0.4	0.4
	6 次				0.15	0.4	0.4
	7 次					0.2	0.4
	8 次						0.15
	9 次						0.2



单线螺纹的进给量等于螺距, 即 $f=P$; 多线螺纹的进给量等于导程, 即 $f=L$ 。

(1) 单行程螺纹切削指令 G32

指令格式:

其中 X、Z——螺纹编程终点的 X、Z 向坐标，单位为 mm，X 为直径值。X 省略时为圆柱螺纹切削，Z 省略时为端面螺纹切削；X、Z 均不省略时为锥螺纹切削；

U、W——螺纹编程终点相对编程起点的 X、Z 向坐标，单位为 mm，U 为直径值；

F——螺纹导程, 单位为 mm。

指令使用要点：G32 进刀方式为直进式；螺纹切削时不能用主轴速度恒定指令 G96；切削斜角在 45° 以下的圆锥螺纹时，螺纹导程以 Z 方向指定。

使用 G32 指令可以加工固定导程的圆柱螺纹或圆锥螺纹, 在进行螺纹切削时应注意在其两端设置足够的升速进刀段 δ_1 和减速退刀段 δ_2 。

【例 17-1】 试编写图 17-3 所示螺纹的加工程序（螺纹导程 4mm，升速进刀段 $\delta_1=3\text{mm}$ ，减速退刀段 $\delta_2=1.5\text{mm}$ ，假设只切一刀）。*A* 点是螺纹加工的起点，*B* 点是单行程螺纹切削指令 G32 的起点，*C* 点是单行程螺纹切削指令 G32 的终点，*D* 点是 X 向退刀的终点。*A*→*B* 采用 G00 进刀；*B*→*C* 采用 G32 车螺纹；*C*→*D* 采用 G00 沿 X 方向退刀；*D*→*A* 采用 G00 沿 Z 方向退刀。

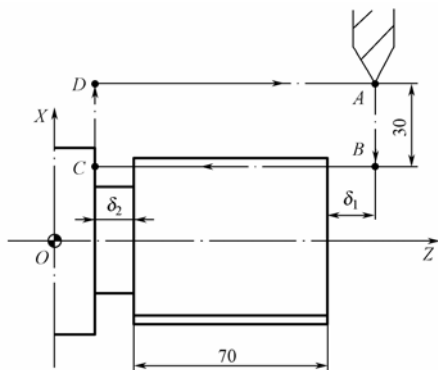


图 17-3 单行程圆柱螺纹切削指令 G32

.....

G00 U-60

G32 W-74.5 F4

G00 U60

W74.5

.....



（2）螺纹切削循环指令 G92

使用 G32 加工螺纹时需要多次进刀，程序较长，容易出错。为此数控车床一般均在数控系统中设置了螺纹切削循环指令 G92。

指令格式：

G92 X(U)_Z(W)_I(R)_ F_

其中 X、Z——螺纹终点的绝对坐标（mm）；

U、W——螺纹终点相对起点的坐标（mm）；

F——螺纹导程（mm）；

I(R)——圆锥螺纹起点半径与终点半径的差值（mm）。其值的正负判断方法与 G90 相同，圆锥螺纹终点半径大于起点半径时 I(R)为负值；圆锥螺纹终点半径小于起点半径时 I(R)为正值。对于圆柱螺纹 I=0，该项可省略，故圆柱螺纹切削循环指令格式为 G92 X(U)_Z(W)_F_。

G92 指令用于单一循环加工螺纹，其循环路线与单一形状固定循环基本相同，如图 17-4 所示，循环路径中除车削螺纹行程②为进给运动（G01）外，其他行程（循环起点进刀①、螺纹切削终点 X 方向退刀③、Z 方向退刀④）均为快速运动（G00）。该指令是切削圆柱螺纹和圆锥螺纹时使用最多的螺纹切削指令。

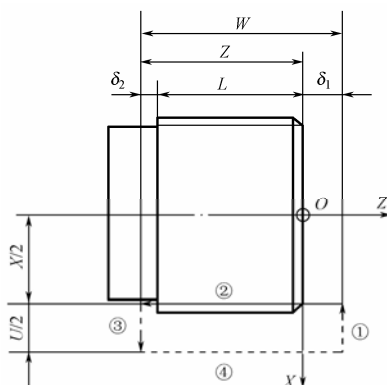


图 17-4 圆柱螺纹切削循环指令 G92

【例 17-2】 试编写图 17-5 所示圆柱螺纹切削循环的加工程序（假设毛坯直径为 30mm，每次切削深度分别为 0.4mm、0.3mm、0.2mm 和 0.1mm）。

.....

G00 X35 Z104

G92 X29.2 Z53 F1.5

X28.6

X28.2

X28.0

G00 X200 Z200

.....

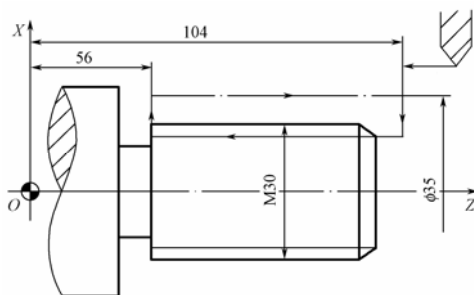


图 17-5 圆柱螺纹切削循环

三、任务解析

1. 螺纹加工相关尺寸与切削三要素数值的计算与确定

实际车削时外圆柱面的直径： $d_{\text{实}}=d-0.1P=(30-0.1\times 2)\text{mm}=(30-0.2)\text{mm}=29.8\text{mm}$ 。

螺纹牙型高度： $h=0.65P=0.65\times 2\text{ mm}=1.3\text{ mm}$ 。

螺纹实际小径： $d_{1\text{实}}=d-1.3P=(30-1.3\times 2)\text{ mm}=27.4\text{ mm}$ 。

升速进刀段和减速退刀段分别取 $\delta_1=5\text{ mm}$ ， $\delta_2=2\text{ mm}$ 。

查表 17-2 确定切削用量：本任务中双边切深为 2.6mm，根据表中第三列数值可知，分五刀切削螺纹（面），切削余量（切深）分别为 0.9mm、0.6mm、0.6mm、0.4mm 和 0.1mm。

主轴转速 $n\leq 1200/P-K=(1200/2-80)\text{r/min}=520\text{r/min}$ 。

进给量 $f=P=2\text{mm}$ 。

2. 加工工艺路线

装夹→对刀→设置编程原点为零件右端面中心→螺纹车削切深 0.9mm（螺距为 2mm）→螺纹车削切深 0.6mm→螺纹车削切深 0.6mm→螺纹车削切深 0.4mm→螺纹车削切深 0.1mm。

四、任务实施（零件加工工艺分析与编程）

1. 工装

采用三爪自定心卡盘夹紧零件的外圆周面。

2. 刀具选择

数控加工刀具卡片见表 17-3。

表 17-3 数控加工刀具卡片

产品名称或代号		×××		零件名称	丝堵		零件图号	×××
序号	刀具号	刀具规格名称		数量	加工表面	刀尖半径 R/mm	刀尖方位 T	备注
1	T01	60° 硬质合金螺纹刀		1	螺纹（面）		8	
编制		×××	审核	×××	批准	×××	共 页	第 页



3. 制作加工工艺卡

丝堵加工工步及切削用量列于加工工艺卡中，见表 17-4。

表 17-4 加工工艺卡

单位名称		×××		产品名称或代号			零件名称		零件图号	
				×××			丝堵		×××	
工序号		程序编号		夹具名称			使用设备		车间	
001		×××		三爪自定心卡盘			数控车床		×××	
工步号	工步内容			刀具号		刀具规格 (mm)	主轴转速 $n/(r/min)$	进给速度 $f/(mm/r)$	背吃刀量 $a_p/(mm)$	备注
1	装夹，找正									手动
2	对刀，设置编程原点为零件右端面中心			T01		25×25				手动
3	螺纹车削第一刀，螺距为2mm，切深 0.9mm			T01		25×25	520	2	0.45	自动
4	螺纹车削第二刀，螺距为2mm，切深 0.6 mm			T01		25×25	520	2	0.3	自动
5	螺纹车削第三刀，螺距为2mm，切深 0.6 mm			T01		25×25	520	2	0.3	自动
6	螺纹车削四刀，切深 0.4mm			T01		25×25	520	2	0.2	自动
7	螺纹车削第五刀，切深 0.1mm			T01		25×25	520	2	0.05	自动
编制		×××	审核	×××	批准	×××	年 月 日		共 页	第 页

4. 程序编制

丝堵数控加工程序（G32 指令）清单见表 17-5。

表 17-5 丝堵数控加工程序清单（G32 指令）

程序号：O0171		
程序段号	程序内容	程序说明
N10	G40 G97 G99 S520 M03;	主轴正转 520 r/min
N20	T0404;	螺纹刀 T04
N30	M80;	切削液开
N40	G00 X32.0 Z5.0;	螺纹加工的起点
N50	X29.1;	自螺纹大径 30mm 进第一刀，切深 0.9mm
N60	G32 Z-28.0 F2.0;	螺纹车削第一刀，螺距为 2mm
N70	G00 X32.0;	X 向退刀
N80	Z5.0;	Z 向退刀



续表

程序号: O0171		
程序段号	程序内容	程序说明
N90	X28.5;	进第二刀, 切深 0.6 mm
N100	G32 Z-28.0 F2.0;	螺纹车削第二刀, 螺距为 2mm
N110	G00 X32.0;	X 向退刀
N120	Z5.0;	Z 向退刀
N130	X27.9;	进第三刀, 切深 0.6mm
N140	G32 Z-28.0 F2.0;	螺纹车削第三刀, 螺距为 2mm
N150	G00 X32.0;	X 向退刀
N160	Z5.0;	Z 向退刀
N170	X27.5;	进第四刀, 切深 0.4 mm
N180	G32 Z-28.0 F2.0;	螺纹车削第四刀, 螺距为 2mm
N190	G00 X32.0;	X 向退刀
N200	Z5.0;	Z 向退刀
N210	X27.4;	进第五刀, 切深 0.1mm
N220	G32 Z-28.0 F2.0;	螺纹车削第五刀, 螺距为 2mm
N230	G00 X32.0;	X 向退刀
N240	Z5.0;	Z 向退刀
N250	X27.4;	重复走刀一次, 光整螺纹表面, 切深为 0mm
N260	G32 Z-28.0 F2.0;	
N270	G00 X200.0;	X 向退刀
N280	Z100.0;	Z 向退刀, 回换刀点
N290	M30;	程序结束

丝堵数控加工程序 (G92 指令) 清单见表 17-6。

表 17-6 丝堵数控加工程序清单 (G92 指令)

程序号: O0172		
程序段号	程序内容	程序说明
N10	G40 G97 G99 S520 M03;	主轴正转 520 r/ min
N20	T0404;	螺纹刀 T04
N30	M08;	切削液开
N40	G00 X31.0 Z5.0;	螺纹加工循环起点
N50	G92 X29.1 Z-28.0 F2.0;	螺纹车削循环第一刀, 切深 0.9 mm, 螺距为 2 mm
N60	X28.5;	第二刀, 切深 0.6 mm
N70	X27.9;	第三刀, 切深 0.6 mm
N80	X27.5;	第四刀, 切深 0.4 mm
N90	X27.4;	第五刀, 切深 0.1 mm
N100	X27.4;	重复走刀一次, 光整螺纹表面, 螺距为 2mm
N110	G00 X200.0 Z100.0;	回换刀点
N120	M30;	程序结束



五、任务学习手记（见表 17-7）

表 17-7 任务学习手记

学生姓名		第____组	组名	
同组人姓名				
任务学习与执行过程				
学习体会				
巩固练习				
个人自评	本人签名：_____			
小组评价	组长签名：_____			
教师评价	教师签名：_____			

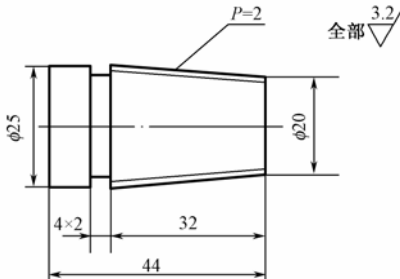


任务十八 外圆锥螺纹（面）Ⅰ数控加工程序的编制

一、项目任务书

外圆锥螺纹（面）Ⅰ数控加工程序的编制项目任务书，见表 18-1。

表 18-1 项目任务书

情境名称	螺纹（面）数控加工程序的编制					
学习目标	1. 掌握圆锥螺纹加工工艺的制定 2. 掌握圆锥螺纹数控编程技巧与方法					
						
零件名称	锥丝堵	材料	45 钢	毛坯尺寸	$\phi 30 \times 80$	
任务内容：制定锥丝堵螺纹（面）加工工艺并编制锥丝堵零件中螺纹（面）的数控加工程序（螺纹段外径已车至小端直径 $\phi 19.8\text{mm}$ 、大端直径 $\phi 24.8\text{mm}$ ， 4×2 的退刀槽已加工）						
学习指令：螺纹加工指令 G32，螺纹循环加工指令 G92						
备注						

二、学习导读

（1）单行程螺纹切削指令 G32

指令格式：

G32 X (U)___Z (W) ___F___;

式中 X、Z——螺纹编程终点的 X、Z 向坐标（mm），X 为直径值，X、Z 均不省略时为锥螺纹切削；

U、W——螺纹编程终点相对编程起点的 X、Z 向坐标（mm），U 为直径值；

F——螺纹导程（mm）。

【例 18-1】 试编写图 18-1 所示圆锥螺纹的加工程序（螺纹导程 3.5mm，升速进刀段 $\delta_1=2\text{mm}$ ，减速退刀段 $\delta_2=1\text{mm}$ ，螺纹深 2mm，每次切削深度分别为 0.4mm、0.3mm、0.2mm 和 0.1mm）。A 点是螺纹加工的起点，B 点是单行程螺纹切削指令 G32 的起点，C 点是单行



程螺纹切削指令 G32 的终点，D 点是 X 向退刀的终点。A→B 采用 G00 进刀；B→C 采用 G32 车螺纹；C→D 采用 G00 沿 X 方向退刀；D→A 采用 G00 沿 Z 方向退刀。

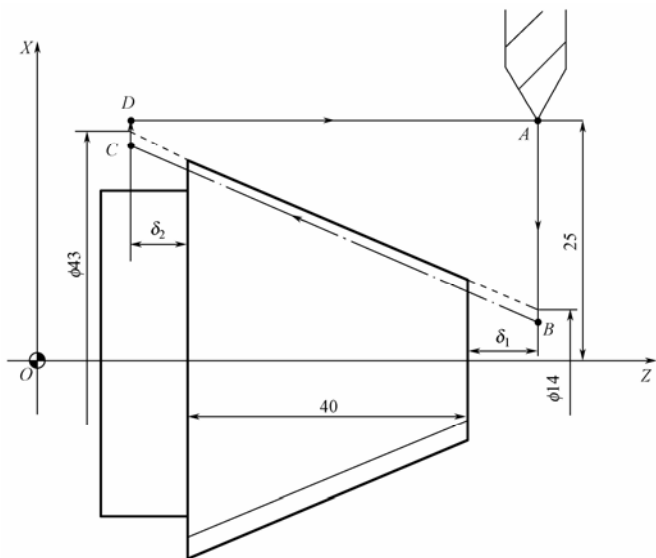


图 18-1 单行程圆锥螺纹切削指令 G32

... ..（假设刀尖已到达 A 点）

G00 X13.2

G32 X43.2 W-43 F3.5

G00 X50

W43

X12.6

G32 X42.6 W-43 F3.5

G00 X50

W43

X12.2

G32 X42.2 W-43 F3.5

G00 X50

W43

X12

G32 X42.2 W-43 F3.5

G00 X50

W43

G00 U50 W50

... ..

（2）螺纹循环加工指令 G92

指令格式：



G92 X(U)_Z(W)_I(R)_F_

其中 X、Z——螺纹终点的绝对坐标 (mm);

U、W——螺纹终点相对起点的坐标 (mm);

F——螺纹导程 (mm);

I(R)——圆锥螺纹起点半径与终点半径的差值 (mm)，其值的正负判断方法与 G90 相同，圆锥螺纹终点半径大于起点半径时 I(R)为负值；圆锥螺纹终点半径小于起点半径时 I(R)为正值。

G92 指令用于单一循环加工螺纹，其循环路线与单一形状固定循环基本相同，如图 18-2 所示，循环路径中除车削螺纹行程②为进给运动 (G01) 外，其他行程 (循环起点进刀①、螺纹切削终点 X 方向退刀③、Z 方向退刀④) 均为快速运动 (G00)。

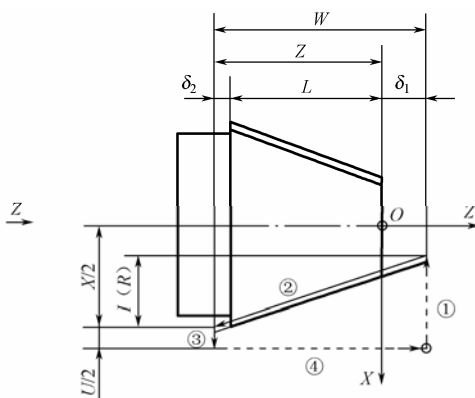


图 18-2 圆锥螺纹切削循环指令 G92

【例 18-2】 试编写图 18-3 所示圆锥螺纹的加工程序 (为简化编程，假设螺纹导程 2mm，升速进刀段 $\delta_1=2\text{mm}$ ，螺纹尾端距离锥底 2mm，螺纹深 0.7mm，每次切削深度分别为 0.5mm、0.2mm，点 A 为圆锥螺纹加工循环起点)。

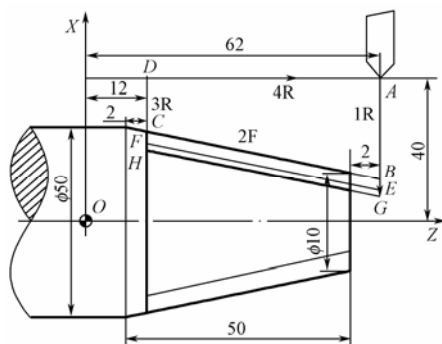


图 18-3 圆锥螺纹循环加工

根据图 18-3，由几何相似性计算螺纹循环加工中各点坐标，见表 18-2。



表 18-2 螺纹循环加工中各点坐标

点	A	B	C	D	E	F	G	H
坐标值	(80, 62)	(8.8, 62)	(48.4, 12)	(7.4, 62)	(47.4, 12)	(80, 12)	(7.0, 62)	(47.0, 12)

.....

G00 X80 Z62

G92 X47.4 Z12 I-20 F2

X47.0

G00 X200 Z200

.....

三、任务解析

升速进刀段 $\delta_1=2\text{mm}$ ，减速退刀段 $\delta_2=1\text{mm}$ ，

1. 螺纹加工相关尺寸与切削三要素数值的计算与确定

如图 18-4 所示，实际车削时的外圆锥面的直径 $d_{\text{实}}=d-0.1P=(d-0.1\times 2)\text{mm}$ ，螺纹大径小端为 $\phi 19.8\text{mm}$ ，螺纹大径大端为 $\phi 24.8\text{mm}$ 。

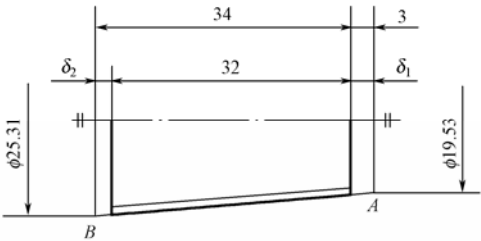


图 18-4 圆锥螺纹加工尺寸计算

螺纹牙型高度 $h_{\text{实}}=0.65\times 2\text{mm}=1.3\text{mm}$ 。

升速进刀段和减速退刀段分别取 $\delta_1=3\text{mm}$ ， $\delta_2=2\text{mm}$ 。由几何相似性可得 A 点坐标为 (19.53, 3)，B 点坐标为 (25.31, -34)。

查表 17-2 确定切削用量。本任务中双边切深为 2.6mm，根据表中第三列数值可知，分五刀切削螺纹（面），切削余量（切深）分别为 0.9mm、0.6mm、0.6mm、0.4mm 和 0.1mm。

主轴转速： $n\leq 1200/P-K=(1200/2-80)=520\text{ r/min}$ 。

进给量： $F=P=2\text{mm}$ 。

当采用圆锥螺纹切削循环指令 G92 加工锥丝堵的锥螺纹时，根据图 18-4 可得 G92 指令中 $R=19.53/2-25.31/2=-2.9\text{mm}$ 。

2. 加工工艺路线

装夹→对刀→设置编程原点为零件右端面中心→螺纹车削切深 0.9mm（螺距为 2mm）→螺纹车削切深 0.6mm→螺纹车削切深 0.6mm→螺纹车削切深 0.4mm→螺纹车削切深 0.1mm。



四、任务实施（零件加工工艺分析与编程）

1. 工装

采用三爪自定心卡盘夹紧零件的外圆周面。

2. 刀具选择

数控加工刀具卡片见表 18-3。

表 18-3 数控加工刀具卡片

产品名称或代号		×××	零件名称		锥丝堵		零件图号	×××
序号	刀具号	刀具规格名称		数量	加工表面	刀尖半径 R/mm	刀尖方位 T	备注
1	T01	60° 硬质合金螺纹刀		1	圆锥螺纹（面）		8	
编制		×××	审核	×××	批准	×××	共 页	第 页

3. 制作加工工艺卡

锥丝堵加工工步及切削用量列于加工工艺卡中，见表 18-4。

表 18-4 加工工艺卡

单位名称		×××		产品名称或代号		零件名称		零件图号	
				×××		锥丝堵		×××	
工序号		程序编号		夹具名称		使用设备		车间	
001		×××		三爪自定心卡盘		数控车床		×××	
工步号	工步内容			刀具号	刀具规格 (mm)	主轴转速 $n/(\text{r}/\text{min})$	进给速度 $f/(\text{mm}/\text{r})$	背吃刀量 $a_p/(\text{mm})$	备注
1	装夹，找正								手动
2	对刀，设置编程原点为零件右端面中心			T01	25×25				手动
3	螺 纹 车 削 第 一 刀 ， 螺 距 为 2mm，切深 0.9mm			T01	25×25	520	2	0.45	自动
4	螺 纹 车 削 第 二 刀 ， 螺 距 为 2mm，切深 0.6 mm			T01	25×25	520	2	0.3	自动
5	螺 纹 车 削 第 三 刀 ， 螺 距 为 2mm，切深 0.6 mm			T01	25×25	520	2	0.3	自动
6	螺 纹 车 削 第 四 刀 ， 切 深 0.4mm			T01	25×25	520	2	0.2	自动
7	螺 纹 车 削 第 五 刀 ， 切 深 0.1mm			T01	25×25	520	2	0.05	自动
编制		×××	审核	×××	批准	×××	年 月 日		共 页 第 页

4. 程序编制

锥丝堵数控加工程序（G32 指令）清单见表 18-5。



表 18-5 锥丝堵数控加工程序清单（G32 指令）

程序号：O0181		
程序段号	程序内容	程序说明
N10	G40 G97 G99 S400 M03;	主轴正转 400 r/min
N20	T0404;	螺纹刀 T04
N30	M08;	切削液开
N40	G00 X27.0 Z3.0;	螺纹加工的起点
N50	X18.6;	进第一刀，切深 0.9 mm
N60	G32 X24.4 Z-34.0 F2.0;	螺纹车削第一刀，螺距为 2mm
N70	G00 X27.0;	X 向退刀
N80	Z3.0;	Z 向退刀
N90	X18.0;	进第二刀，切深 0.6 mm
NI00	G32 X23.8 Z-34.0 F2.0;	螺纹车削第二刀，螺距为 2mm
N110	G00 X27.0;	X 向退刀
N120	Z3.0;	Z 向退刀
N130	XI7.4;	进第三刀，切深 0.6mm
N140	G32 X23.2 Z -34.0 F2.0;	螺纹车削第三刀，螺距为 2mm
N150	G00 X27.0;	X 向退刀
N160	Z3.0;	Z 向退刀
N170	X17.0;	进第四刀，切深 0.4 mm
N180	G32 X22. 8 Z-34.0 F2.0;	螺纹车削第四刀，螺距为 2mm
N190	G00 X27. 0;	X 向退刀
N200	Z3.0;	Z 向退刀
N210	X16.9;	进第五刀，切深 0.1mm
N220	G32 X22.7 Z-34.0 F2.0;	螺纹车削第五刀，螺距为 2mm
N230	G00 X27.0;	X 向退刀
N240	Z3.0;	Z 向退刀
N250	X16.9;	重复走刀一次，光整螺纹表面，螺距为 2mm
N260	G32 X22.7 Z-34.0 F2.0;	
N270	G00 X200.0;	X 向退刀
N280	Z100.0;	Z 向退刀，回换刀点
N290	M30;	程序结束

锥丝堵数控加工程序（G92 指令）清单见表 18-6。

表 18-6 锥丝堵数控加工程序清单（G92 指令）

程序号：O0182		
程序段号	程序内容	程序说明
N10	G40 G97 G99 S400 M03;	主轴正转 400r/min
N20	T0404;	螺纹刀 T04
N30	M08;	切削液开
N40	G00 X27.0 Z2.0;	螺纹加工循环起点
N50	G92 X24.4 Z-34.0 R-2.9 F2.0;	螺纹车削循环第一刀，切深 0.9mm，螺距为 2mm
N60	X23.8;	第二刀，切深 0.6mm
N70	X23.2;	第三刀，切深 0.6mm
N80	X22.8;	第四刀，切深 0.4mm
N90	X22.7;	第五刀，切深 0.1mm
N100	X22.7;	重复走刀一次，光整螺纹表面，螺距为 2mm
N110	G00 X200.0 Z100.0;	回换刀点
N120	M30;	程序结束



五、任务学习手记（见表 18-7）

表 18-7 任务学习手记

学生姓名		第____组	组名	
同组人姓名				
任务学习与执行过程				
学习体会				
巩固练习				
个人自评	本人签名：_____			
小组评价	组长签名：_____			
教师评价	教师签名：_____			

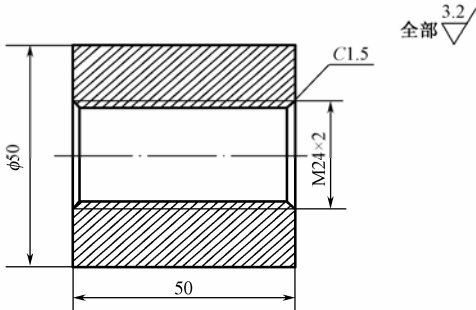


任务十九 内螺纹（面）数控加工程序的编制

一、项目任务书

内螺纹（面）数控加工程序的编制项目任务书，见表 19-1。

表 19-1 项目任务书

情境名称	螺纹（面）数控加工程序的编制				
学习目标	1. 掌握内螺纹加工工艺的制定 2. 掌握内螺纹数控编程技巧与方法				
<div></div>					
零件名称	螺母	材料	45 钢	毛坯尺寸	$\phi 55 \times 80$
任务内容：制定内螺纹（面）加工工艺并编制螺母零件中内螺纹（面）的数控加工程序（内螺纹的底孔 $\phi 22\text{mm}$ 已车完， $1.5 \times 45^\circ$ 的倒角已加工）					
学习指令：螺纹加工指令 G32					
备注					

二、学习导读

车削内螺纹时，由于车刀切削的挤压作用，内孔直径要缩小，所以车削内螺纹时底孔的直径应大于螺纹小径。实际加工中，一般取螺纹小径实际值 $D_{1\text{实}}=D-P$ 。一般取螺纹牙型高度 $h=0.65P$ ，编程时螺纹小径计算值 $D_{1\text{计}}=D-2h=D-1.3P$ 。

三、任务解析

在本任务中，实际车削时取内螺纹的底孔的直径 $D_{1\text{实}}=D-P=(24-2)\text{mm}=22\text{mm}$ 。

螺纹实际牙型高度 $h=0.65P=(0.65 \times 2)\text{mm}=1.3\text{mm}$ 。

内螺纹实际大径 $D=24\text{mm}$ 。

编程时螺纹小径计算值 $D_{1\text{计}}=D-2h=D-1.3=D-1.3P=(24-1.3 \times 2)\text{mm}=21.4\text{mm}$ 。

升速进刀段和减速退刀段分别取 $\delta_1=5\text{mm}$ ， $\delta_2=2\text{mm}$ 。

查表 17-2 确定切削用量，本任务中双边切深为 2.6mm，根据表中第三列数值可知，分五刀



切削螺纹（面），切削余量（切深）分别为 0.9mm、0.6mm、0.6mm、0.4mm 和 0.1mm。

主轴转速 $n \leq 1200/P - K = (1200/2 - 80) = 520 \text{r/min}$ 。

进给量 $f = P = 2 \text{mm}$ 。

四、任务实施（零件加工工艺分析与编程）

1. 工装

采用三爪自定心卡盘夹紧零件的外圆周面。

2. 刀具选择

数控加工刀具卡片见表 19-2。

表 19-2 数控加工刀具卡片

产品名称或代号		×××		零件名称		螺母		零件图号	×××
序号	刀具号	刀具规格名称		数量	加工表面		刀尖半径 R/ mm	刀尖方位 T	备注
1	T01	60° 硬质合金内螺纹刀		1	内螺纹（面）			6	
编制		×××	审核	×××	批准	×××		共 页	第 页

3. 制作加工工艺卡

螺母加工工步及切削用量列于加工工艺卡中，见表 19-3。

表 19-3 加工工艺卡

单位名称		×××		产品名称或代号		零件名称		零件图号			
				×××		螺母		×××			
工序号		程序编号		夹具名称		使用设备		车间			
001		×××		三爪自定心卡盘		数控车床		×××			
工步号	工步内容			刀具号	刀具规格 (mm)	主轴转速 $n/(r/min)$	进给速度 $f/(mm/r)$	背吃刀量 $a_p/(mm)$	备注		
1	装夹，找正								手动		
2	对刀，设置编程原点为零件右端面中心			T01					手动		
3	螺纹车削第一刀，螺距为2mm，切深0.9mm			T01	25×25	520	2	0.45	自动		
4	螺纹车削第二刀，螺距为2mm，切深0.6 mm			T01	25×25	520	2	0.3	自动		
5	螺纹车削第三刀，螺距为2mm，切深0.6 mm			T01	25×25	520	2	0.3	自动		
6	螺纹车削第四刀，切深0.4mm			T01	25×25	520	2	0.2	自动		
7	螺纹车削第五刀，切深0.1mm			T01	25×25	520	2	0.05	自动		
编制		×××		审核	×××	批准	×××		年 月 日	共 页	第 页



4. 程序编制

螺母数控加工程序清单（G32 指令）见表 19-4。

表 19-4 螺母数控加工程序清单（G32 指令）

程序号: O0191		
程序段号	程序内容	程序说明
N10	G40 G97 G99 S520 M03;	主轴正转 520r/min
N20	T0404;	螺纹刀 T04
N30	M08;	切削液开
N40	G00 X20.0 Z5.0;	螺纹加工的起点
N50	X22.3;	自螺纹小径 21.4 mm 进第一刀，切深 0.9 mm
N60	G32 Z-52.0 F2.0;	螺纹车削第一刀，螺距为 2mm
N70	G00 X20.0;	X 向退刀
N80	Z5.0;	Z 向退刀
N90	X22.9;	进第二刀，切深 0.6 mm
N100	G32 Z-52.0 F2.0;	螺纹车削第二刀，螺距为 2mm
N110	G00 X20.0;	X 向退刀
N120	Z5.0;	Z 向退刀
N130	X23.5;	进第三刀，切深 0.6 mm
N140	G32 Z-52.0 F2.0;	螺纹车削第三刀，螺距为 2 mm
N150	G00 X20.0;	X 向退刀
N160	Z5.0;	Z 向退刀
N170	X23.9;	进第四刀，切深 0.4 mm
N180	G32 Z-52.0 F2.0;	螺纹车削第四刀，螺距为 2 mm
N190	G00 X20.0;	X 向退刀
N200	Z5.0;	Z 向退刀
N210	X24.0;	进第五刀，切深 0.1 mm
N220	G32 Z-52. 0 F2.0;	螺纹车削第五刀，螺距为 2 mm
N230	G00 X20. 0;	X 向退刀
N240	Z5.0;	Z 向退刀
N250	X24.0;	重复走刀一次，光整螺纹表面，螺距为 2mm
N260	G32 Z-52.0 F2.0;	
N270	G00 X20.0;	X 向退刀
N280	Z100.0;	Z 向退刀
N290	X200.0;	回换刀点
N300	M30;	程序结束

螺母数控加工程序清单（G92 指令）见表 19-5。



表 19-5 螺母数控加工程序清单（G92 指令）

序号：O0192		
程序段号	程序内容	程序说明
N10	G40 G97 G99 S5200 M03；	主轴正转 520 r/min
N20	T0404；	螺纹刀 T04
N30	M08；	切削液开
N40	G00 X20.0 Z5.0 ；	螺纹加工循环起点
N50	G92 X22.3 Z-52.0 F2.0；	螺纹车削循环第一刀，切深 0.7 mm，螺距为 2mm
N60	X22.9；	第二刀，切深 0.6mm
N70	X23.5；	第三刀，切深 0.6mm
N80	X23.9；	第四刀，切深 0.4mm
N90	X24.0；	第五刀，切深 0.1 mm
N100	X24.0；	重复走刀一次，光整螺纹表面，螺距为 2mm
N110	G00 X200.0 Z100.0；	X 向退刀至换刀点
N120	M30；	程序结束

五、任务学习手记（见表 19-6）

表 19-6 任务学习手记

学生姓名		第____组	组名	
同组人姓名				
任务学习与执行过程				
学习体会				
巩固练习				
个人自评	本人签名：_____			
小组评价	组长签名：_____			
教师评价	教师签名：_____			

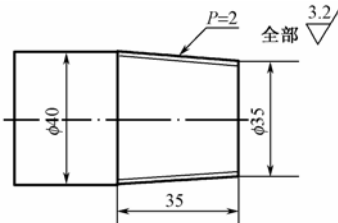


任务二十 外圆锥螺纹（面）Ⅱ 数控加工程序的编制

一、项目任务书

外圆锥螺纹（面）Ⅱ 数控加工程序的编制项目任务书，见表 20-1。

表 20-1 项目任务书

情境名称	螺纹（面）数控加工程序的编制				
学习目标	1. 掌握圆锥螺纹加工工艺的制定 2. 掌握圆锥螺纹数控编程技巧与方法				
<div></div>					
零件名称	锥丝堵	材料	45 钢	毛坯尺寸	φ45×70
任务内容：用 G76 指令编制锥丝堵零件中外螺纹（面）的数控加工程序（螺纹外径已车至小端直径φ34.8mm、大端直径φ39.8mm）					
学习指令：螺纹切削复合循环指令 G76					
备注					

二、学习导读

螺纹切削复合循环指令 G76 用于多次自动循环切削螺纹（如图 20-1 所示），可以完成一个螺纹段的全部加工任务。其进刀方法有利于改善刀具的切削条件，切深和进刀次数等均可设置后自动完成。G76 指令经常用于加工不带退刀槽的圆柱螺纹和圆锥螺纹，在编程中应优先考虑应用该指令。

螺纹切削复合循环指令（G76）编程格式：

```
G76 P(m) (r) (α) Q (Δdmin) R(d);  
G76 X(U) – Z(W) – R(i) P(k) Q(Δd) F(f);
```

- 其中
- m——精车重复次数，从 1~99，该参数为模态量；
 - r——螺纹尾部倒角量，该值的大小可设定在 $0.0L \sim 9.9L$ ，系数应为 0.1 的整数倍，用 00~99 之间的两位整数来表示（其中 L 为螺距）。该参数为模态量；
 - α——刀尖角度，从 80° 、 60° 、 55° 、 30° 、 29° 和 0° 等 6 个角度中选择，用两位整



数来表示, 常用 60° 、 55° 和 30° 三个角度, 该参数为模态量;

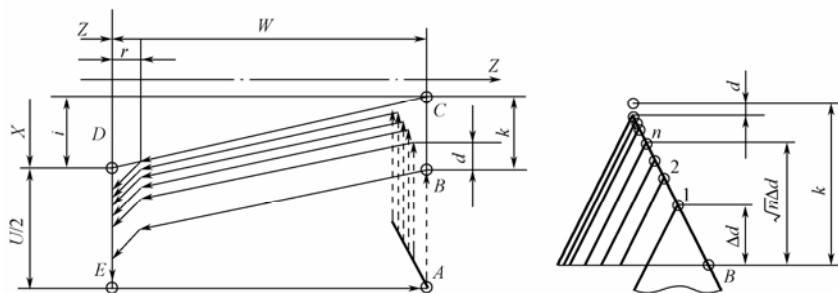


图 20-1 螺纹切削复合循环指令 G76 与进刀法

m、r 和 α 用地址 P 同时指定, 例如, $m=2$, $r=1.2L$, $\alpha=60^\circ$ 表示为 P021260。

Δd_{\min} ——最小车削深度 (μm), 用半径编程指定, 车削过程中每次的车削深度为 $\Delta d(\sqrt{n} - \sqrt{n-1})$, 当计算值小于 Δd_{\min} 值时, 深度锁定为该值, 该参数为模态量;

d——精车余量 (μm), 用半径编程指定, 该参数为模态量;

X (V)、Z(W) ——螺纹终点坐标 (mm);

i——螺纹部分的半径差 (mm)。加工圆柱螺纹时, $i=0$, 可省略该参数; 加工圆锥螺纹时, 当 X 向切削起始点坐标小于切削终点坐标时, i 为负值, 反之为正;

k——螺纹高度 (μm), 用 (X 轴方向的) 半径值指定;

Δd ——第一次车削深度 (μm), 用 (X 轴方向的) 半径值指定;

f——螺纹螺距 (单线螺纹) 或螺纹导程 (多线螺纹) (mm)。

在螺纹切削复合循环指令 G76 中, Q、P、R 地址后的数值一般以无小数点形式表示。加工三角形螺纹时, 以上参数一般取 $m=2$, $r=1.1L$, $\alpha=60^\circ$, 表示为 P021160; $\Delta d_{\min}=0.1\text{mm}$, $d=0.05\text{mm}$, $k=0.65p$, Δd 根据零件材料、螺纹导程、刀具和机床刚性综合给定, 建议取 $0.7\sim 2.0\text{mm}$ 。其他参数由零件具体尺寸确定。

【例 20-1】 试编写如图 20-2 所示圆柱螺纹的加工程序, 螺距为 6mm (升速进刀段取 $\delta_1=3\text{mm}$, 减速退刀段取 $\delta_2=2\text{mm}$)。

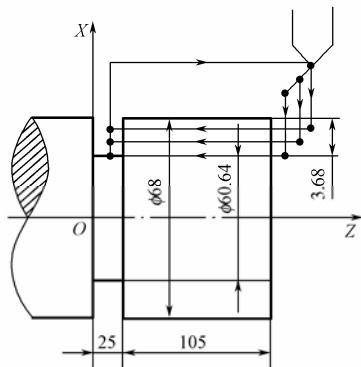


图 20-2 螺纹切削复合循环指令 G76



加工三角形螺纹，取 $m=2$ ， $r=1.2L$ ， $\alpha=60^\circ$ ，表示为 P021260。

... ..

G00 X70 Z133

G76 P021260 Q100 R100

G76 X60.64 Z23 R0 F6 P3680 Q1800

... ..

三、任务解析

1. 螺纹加工尺寸计算

实际车削时外圆柱面的直径 $d_{1\text{实}}=d-0.2P$ ，螺纹小端大径 $d_{\text{实}}=(35-0.2)\text{mm}=34.8\text{mm}$ ，螺纹大端大径 $d_{\text{实}}=(40-0.2)\text{mm}=39.8\text{mm}$ 。用 G70 或 G01 加工保证。

螺纹牙型高度 $h_{\text{实}}=0.65P=0.65\times 2\text{mm}=1.3\text{mm}$ 。

螺纹大端小径 $d_{1\text{实}}=(d-1.3P)=(40-1.3\times 2)\text{mm}=37.4\text{mm}$ ，即螺纹终点 X 方向直径值为 37.4。

升速进刀段取 $\delta_1=3\text{mm}$ 。

2. 确定切削用量

精车重复次数 $m=2$ ，螺纹尾倒角量 $r=1.1L$ ，刀尖角度 $\alpha=60^\circ$ ，表示为 P021160。

最小车削深度 $\Delta d_{\min}=0.1\text{mm}$ ，表示为 Q100。

精车余量 $d=0.05\text{mm}$ ，表示为 R50(μm)。

螺纹终点坐标 $X=37.4\text{mm}$ ， $Z=-35\text{mm}$ 。

螺纹部分的半径差 $i=(35-40)/2=-2.5\text{mm}$ ，表示为 R-2.5。

螺纹高度 $k=1.3\text{mm}$ ，表示为 P1300。

第一次车削深度 Δd 取 1.0mm ，表示为 Q1000。

$f=2\text{mm}$ ，表示为 F2.0。

主轴转速 $n\leq 1200/P-K=(1200/2-80)\text{r/min}=520\text{r/min}$ 。

四、任务实施（零件加工工艺与编程）

1. 工装

采用三爪自定心卡盘夹紧零件的外圆面。

2. 刀具选择

数控加工刀具卡片见表 20-2。



表 20-2 数控加工刀具卡片

产品名称或代号		×××		零件名称		锥丝堵		零件图号	×××
序号	刀具号	刀具规格名称		数量	加工表面	刀尖半径 <i>R</i> /mm	刀尖方位 <i>T</i>	备注	
1	T01	60° 硬质合金螺纹刀		1	圆锥螺纹（面）		8		
编制		×××	审核	×××	批准	×××	共 页	第 页	

3. 制作加工工艺卡

锥丝堵加工工步及切削用量列于加工工艺卡中，见表 20-3。

表 20-3 加工工艺卡

单位名称		×××		产品名称或代号		零件名称		零件图号			
				×××		锥丝堵		×××			
工序号		程序编号		夹具名称		使用设备		车间			
001		×××		三爪自定心卡盘		数控车床		×××			
工步号	工步内容			刀具号		刀具规格 (mm)		主轴转速 <i>n</i> /(r/min)	进给速度 <i>f</i> (mm/r)	背吃刀量 <i>a_p</i> (mm)	备注
1	装夹，找正										手动
2	对刀，设置编程原点为零件右端面中心			T01		25×25					手动
3	螺纹循环车削第一刀			T01		25×25		520	2	1	自动
4	螺纹循环车削第二刀			T01		25×25		520	2	0.15	自动
5	螺纹循环车削第三刀			T01		25×25		520	2	0.1	自动
6	螺纹循环车削第四刀			T01		25×25		520	2	0.05	自动
编制		×××	审核	×××	批准	×××		年 月 日		共 页	第 页

4. 程序编制

锥丝堵数控加工程序清单见表 20-4。

表 20-4 锥丝堵数控加工程序清单

程序号：O0020		
程序段号	程序内容	程序说明
N10	G40 G97 G99 S520 M03;	主轴正转 520 r/min
N20	T0404;	螺纹刀 T04
N30	M08	切削液开
N40	G00 X41.0 Z3.0;	螺纹加工循环起点
N50	G76 P021160 Q100 R50;	螺纹车削复合循环
N60	G76 X37.4 Z-35.0 P1300 Q1000 F2.0;	螺纹车削复合循环
N70	G00 X200.0 Z100.0;	回换刀点
N80	X30;	程序结束



五、任务学习手记（见表 20-5）

表 20-5 任务学习手记

学生姓名		第____组	组名	
同组人姓名				
任务学习与执行过程				
学习体会				
巩固练习				
个人自评	本人签名：_____			
小组评价	组长签名：_____			
教师评价	教师签名：_____			

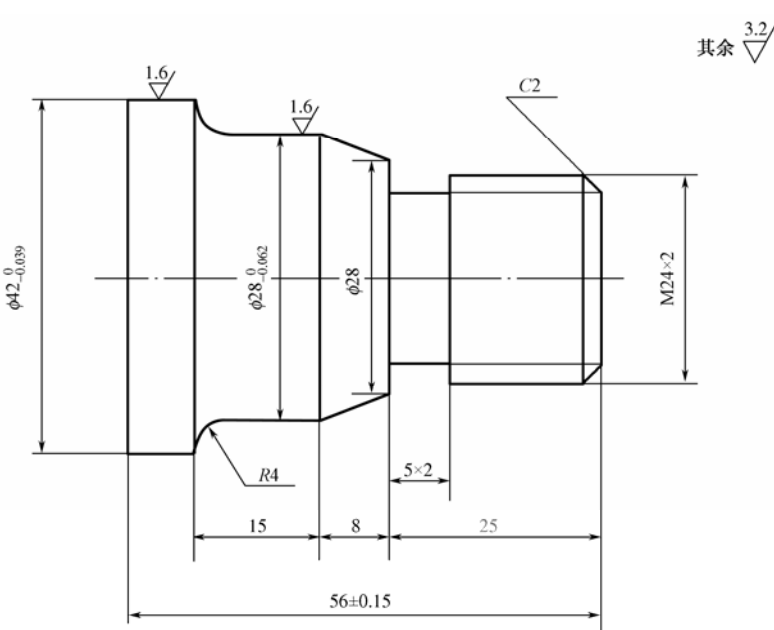


任务二十一 复合外圆面（锥面、柱面、成形面、螺纹面） 数控加工程序的编制

一、项目任务书

复合外圆面数控加工程序的编制项目任务书，见表 21-1。

表 21-1 项目任务书

情境名称	螺纹（面）数控加工程序的编制				
学习目标	1. 掌握复合外圆面加工工艺的制定 2. 掌握复合外圆面数控编程技巧与方法				
<div></div>					
零件名称	螺纹轴	材料	45 钢	毛坯尺寸	φ45×100
任务内容：制定螺纹轴的加工工艺并编制其数控加工程序					
学习指令：外圆粗车循环指令 G71，精加工循环指令 G70，螺纹切削复合循环指令 G92，暂停指令 G04					
备注					



二、学习导读

根据表 21-1 中零件图的要求，综合应用外圆粗车循环指令 G71、精加工循环指令 G70、螺纹切削复合循环指令 G92 和暂停指令 G04 等进行编程。采用三爪自定心卡盘装卡，零件伸出卡盘 75mm，加工零件外轮廓至尺寸要求后切断，留 0.5mm 余量。零件调头，夹 $\phi 42$ mm 外圆，车削右端面至尺寸要求。

三、任务解析

1. 编程尺寸计算

图纸上有公差值的尺寸，编程时取极限尺寸的平均值。由此可得 $\phi 34$ 、 $\phi 42$ 外圆的编程尺寸分别为 33.969mm、41.981mm。

螺纹牙顶外圆柱加工直径 23.8mm，螺距 $P=2$ mm，螺纹小径 21.4mm，双边切深 2.6mm，分 5 刀进行，每次分别为 0.9mm、0.6mm、0.6mm、0.4mm、0.1mm。

2. 加工工艺路线

装夹→对刀→设置编程原点为零件右端面中心→粗车外轮廓，留余量 0.5mm→精车各表面至尺寸要求→切槽 5×2 至尺寸要求→粗、精加工螺纹→切断，留余量 0.5mm→调头车右端面至尺寸要求。

四、任务实施（零件加工工艺与编程）

1. 工装

采用三爪自定心卡盘夹紧零件的外圆周面。

2. 刀具选择

数控加工刀具卡片见表 21-2。

表 21-2 数控加工刀具卡片

产品名称或代号		×××		零件名称	螺纹轴		零件图号	×××
序号	刀具号	刀具规格名称		数量	加工表面	刀尖半径 R/ mm	刀尖方位 T	备注
1	T01	硬质合金 90° 外圆车刀		1	粗车外圆（轮廓）	0.4	3	右偏刀
2	T02	硬质合金 90° 外圆车刀		1	精车外圆（轮廓）	0.2	3	右偏刀
3	T03	硬质合金切槽刀（刀宽 4mm）		1	切螺纹退刀槽			
4	T04	90° 硬质合金螺纹车刀		1	车外螺纹	0.2		
编制		×××	审核	×××	批准	×××	共 页	第 页



3. 制作加工工艺卡

螺纹轴加工工步及切削用量列于加工工艺卡中，见表 21-3。

表 21-3 加工工艺卡

单位名称		×××		产品名称或代号		零件名称		零件图号		
				×××		螺纹轴		×××		
工序号		程序编号		夹具名称		使用设备		车间		
001		×××		三爪自定心卡盘		数控车床		×××		
工步号	工步内容			刀具号		刀具规格 (mm)	主轴转速 <i>n</i> /(r/min)	进给速度 <i>f</i> /(mm/r)	背吃刀量 <i>a_p</i> /(mm)	备注
1	装夹，找正									手动
2	平端面，对刀，设置编程原点为零件右端面中心			T01		25×20	600	1.0	1.0	手动
3	粗车外轮廓，留余量 0.5mm			T01		25×20	600	0.25	1.5	自动
4	精车各表面至尺寸要求			T02		25×20	800	0.15	0.25	自动
5	切槽 5×2 至尺寸要求			T03		25×20	450	0.05	4	自动
6	粗、精加工螺纹			T04		25×20	400	1.5		自动
7	切断，留余量 0.5mm			T03		25×20	350	0.05		自动
8	调头车右端面			T01		25×20	600	0.15	1.0	手动
编制		×××	审核	×××	批准	×××	年 月 日		共 页	第 页

4. 程序编制

螺纹轴数控加工程序清单见表 21-4。

表 21-4 螺纹轴数控加工程序清单

程序号：O0021		
程序段号	程序内容	程序说明
N10	G40 G97 M03 S600 F0.25;	主轴正转 600r/min，进给量为 0.25mm/r
N20	T0101;	用 T0101
N30	M08;	切削液开
N40	G00 X45.0 Z2.0;	快速进刀至循环起点
N50	G71 U1.5 R0.5;	粗车循环，背吃刀量 1.5mm，退刀量 0.5mm
N60	G71 P70 Q190 U0.5 W0.05;	精车路线为 N70~N190，X 向精车余量 0.5mm；Z 向精车余量 0.05mm
N70	G00 X0;	快速进刀
N80	G01 G42 Z0.0;	刀具右补偿，精加工轮廓起点
N90	X19.8;	车削端面至螺纹倒角起点
N100	X23.8 Z-2.0;	车螺纹倒角
N110	Z-25.0;	车螺纹牙顶圆
N120	X28.0;	车 $\phi 28$ 台阶
N130	X33.969 Z-33.0;	车外圆锥面
N140	Z-44.0;	车 $\phi 34$ 外圆



续表

程序号：O0021		
程序段号	程序内容	程序说明
N150	G02 X41.969 Z-48.0 R4.0;	车 R4 圆弧
N160	G01 X41.98;	车至 $\phi 34$ 外圆公差中值
N170	Z-61.0;	车 $\phi 42$ 外圆
N180	X45.0;	X 向退刀
N190	G01 G40 X46.0;	取消刀补
N200	G00 X200.0 Z100.0;	快速退刀至换刀点
N210	M09;	切削液停
N220	M05 ;	主轴停
N230	T0202;	换刀 T0202
N240	Z03 S800 F0.12;	主轴正转 800r/min，进给量 0.12mm/r
N250	M08;	切削液开
N260	G00 X45.0 Z2.0;	快速进刀至循环起点
N270	G70 P70 Q190;	精车循环
N280	G00 X200.0 Z100.0;	快速退刀至换刀点
N290	M09;	切削液停
N300	M05;	主轴停
N310	T0303;	换切刀
N320	M03 S350 F0.05;	主轴正转 350r/min，进给量 0.05mm/r
N330	M08;	切削液开
N340	G00 X30.0 Z-25.0;	快速进刀至第一刀切槽起点
N350	G01 X21.0;	切槽第一刀，留 0.5mm 余量
N360	G04 X1.0 ;	暂停 1s
N370	G00 X30.0;	快速退刀至第一刀切槽起点
N380	Z-24.0;	快速进刀至第二刀切槽起点
N390	G01 X20.0;	切槽第一刀
N400	G04 X1.0;	暂停 1s
N410	G01 Z-25.0;	车槽底
N420	G00 X30.0;	X 向快速退刀
N430	G00 X200.0 Z100.0;	快速退刀至换刀点
N440	M09;	切削液停
N450	M05;	主轴停
N460	T0404;	换刀 T0404
N470	M03 S400;	主轴正转 400r/min
N480	M08;	切削液开
N490	G00 X28.0 Z5.0;	快速进刀至螺纹循环起点
N500	G92 X23.1; Z-21.0 F2.0;	螺纹车削循环第一刀，切深 0.9mm，螺距为 2mm
N510	X22.5;	螺纹车削循环第二刀，切深 0.6mm
N520	X21.9;	螺纹车削循环第三刀，切深 0.6mm
N530	X21.5;	螺纹车削循环第四刀，切深 0.4mm
N540	X21.4;	螺纹车削循环第五刀，切深 0.1mm
N550	X21.4;	重复走刀一次，光整螺纹表面，螺距为 2mm
N560	G00 X200.0 Z100.0;	快速退刀至换刀点
N570	M09;	切削液停



续表

程序号：O0021		
程序段号	程序内容	程序说明
N580	M05;	主轴停
N590	T0303;	换切刀
N600	M03 S350 F0.05;	主轴正转 350r/min
N610	M08;	切削液开
N620	G00 X43.0 Z-60.5;	快速进刀至切断起点，留 0.5mm 余量
N630	G01 X0.0;	切断
N640	G00 X45.0;	X 向退刀
N650	G00 X200.0 Z100.0;	快速退刀
N660	M30;	程序结束

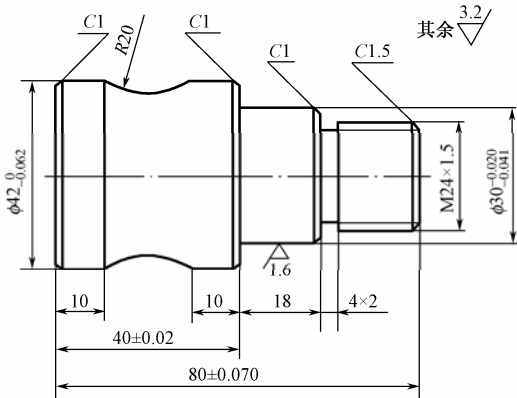
五、任务学习手记（见表 21-5）

表 21-5 任务学习手记

学生姓名		第____组	组名	
同组人姓名				
任务学习与执行过程				
学习体会				
巩固练习				
个人自评	本人签名：_____			
小组评价	组长签名：_____			
教师评价	教师签名：_____			



拓展训练任务



零件名称	手柄	材料	45 钢	毛坯尺寸	$\phi 45 \times 110$
------	----	----	------	------	----------------------

任务内容：制定手柄的加工工艺并编制其数控加工程序

数控铣削编程模块

情境四 孔（面）数控加工程序的编制

情境描述：

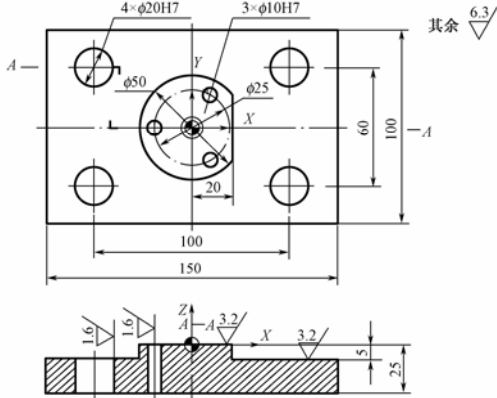
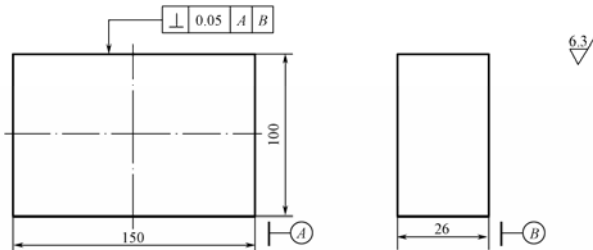
在数控铣床上内孔表面的加工方法有钻孔、扩孔、铰孔、镗孔、攻丝及铣孔等，应根据被加工孔的尺寸、加工要求、生产条件、批量大小及毛坯上是否有预制孔等因素合理选用。本情境主要学习钻孔、铣孔、铰孔、攻螺纹和镗孔的加工工艺及编程指令。

任务二十二 钻孔（面）数控加工程序的编制

一、项目任务书

钻孔（面）数控加工程序的编制项目任务书，见表 22-1。

表 22-1 项目任务书

情境名称	孔（面）数控加工程序的编制		
学习目标	1. 掌握钻孔的加工工艺 2. 学会正确选用钻孔的刀具、夹具，合理选择切削用量 3. 熟练运用孔加工固定循环指令编程		
<div></div>			
零件名称	模具型芯	材料	45 钢
<div></div>			
零件毛坯图			



续表

任务内容：制定模具型芯的加工工艺并编制其数控加工程序	
学习指令：G02，G17～G19，G54～G59，G43/G44，G49，G90/G91，G98/G99，G81，G83	
备 注	

二、学习导读

1. 钻孔加工技术

(1) 孔精度与加工方式的选择

加工精度为 IT9 级的孔：当孔径小于 10mm 时，可采用钻-铰方案；当孔径小于 30mm 时，可采用钻-扩方案；当孔径大于 30mm 时，可采用钻-镗方案。

加工精度为 IT8 级的孔：当孔径小于 20mm 时，可采用钻-铰方案；当孔径大于 20mm、小于 80mm 时，可采用钻—扩—铰方案。

加工精度为 IT7 级的孔：当孔径小于 12mm 时，可采用钻—粗铰—精铰方案；当孔径大于 12mm、小于 60mm 时，可采用钻—扩—粗铰—精铰方案或钻—扩—拉方案（此方案适用于批量较大的场合）；若毛坯上已有预制孔，则可采用粗镗—半精镗—精镗方案。

加工精度为 IT6 级的孔：最终工序可采用手铰、精细镗、研磨或珩磨等。

以上加工方法通常适用于非淬火钢或铸铁材料。若工件材料为淬火钢，则可选用磨削。有色金属材料由于硬度低、韧性大，故其精细加工可采用精细镗或研磨。

(2) 通孔、盲孔

通孔：加工完毕后可直接退刀。

盲孔：加工完毕后孔底需要暂停，暂停后退刀。

(3) 钻孔、镗孔

钻孔：孔加工完毕后可直接退刀。

镗空：孔加工完毕后须沿着刀尖反向退出一段距离，然后退刀。

(4) 普通孔加工与螺纹加工

普通孔加工：退刀时主轴可以转动，可以停止，退刀速度可以快速运动进行也可以工进速度退刀。

螺纹加工：加工完毕退刀时主轴转向与进刀时正好相反，退刀速度必须与进刀速度相等。

(5) 深孔、浅孔

深孔：（深径比值大于 5）间歇进给。

浅孔：直接进给。

2. 相关指令学习

(1) 绝对值方式指令 G90 和增量方式指令 G91

格式：

G90 (G91)



说明

G90 指令表示程序段中的运动坐标数字为绝对坐标值，即从编程零点开始的坐标值。

G91 指令表示程序段中的运动坐标数字为相对坐标值，即程序段的终点坐标都是相对于前一坐标点给出的。

(2) 插补平面选择指令 G17、G18、G19

格式：

G17(G18 /G19)



说明

G17 指令为选择 XY 插补平面；G18 指令为选择 XZ 插补平面；G19 指令为选择 YZ 插补平面。当存在刀具补偿时，不能变换定义平面。系统通电时处于 G17 状态。

考虑加工方便，Z 坐标可单独编程，而不考虑平面的定义。但编入两坐标联动时，必须考虑平面选择问题。

在计算刀具长度补偿和半径补偿时必须首先确定一个平面，在此平面中可以进行刀具半径补偿。在与该平面垂直的坐标轴方向进行相应的刀具长度补偿。具体选择见表 22-2 和图 22-1。

表 22-2 平面选择

G 功能	平 面	垂直坐标轴（在钻削/铣削时的长度补偿轴）
G17	XY	Z
G18	XZ	Y
G19	YZ	X

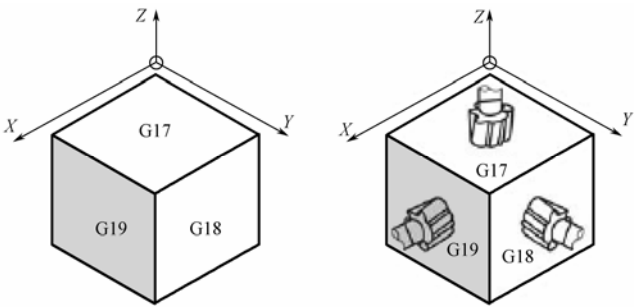


图 22-1 钻削/铣削时的平面和坐标轴布置

(3) 工件坐标系选择指令 G54～G59

格式：

G54/G55/G56/G57/G58/G59



说明

G54~G59 可预定 6 个工件坐标系（如图 22-2 所示），根据需要任意选用。

这 6 个预定工件坐标系的原点在机床坐标系中的值，用 MDI 方式预先输入“坐标系”功能表中，系统自动记忆。当程序执行 G54~G59 中的某一个指令时，后续程序段中绝对值编程时的指令值均为相对此工件坐标系原点的值。

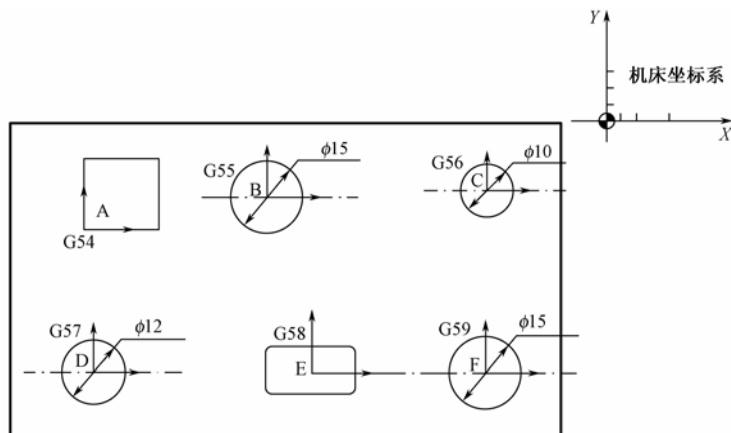


图 22-2 工件坐标系选择

【例 22-1】 如图 22-3 所示，用 G54 和 G59 选择工件坐标系指令编程。要求刀具从当前点（任一点）移动到 A 点，再从 A 点移动到 B 点。

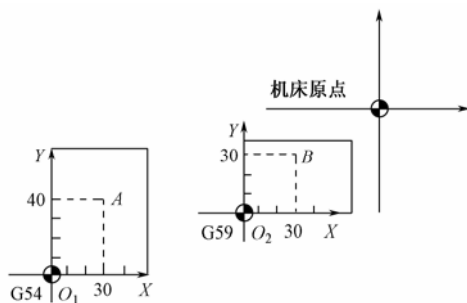


图 22-3 用 G54 和 G59 指令编程

```
%1000
N01 G54;           //选择工件坐标系 1
N02 G00 G90 X30 Y40; //当前点→A
N03 G59;           //选择工件坐标系 2
N04 G00 X30 Y30;   //A→B
N05 M03;
```

(4) 刀具半径补偿指令 G41、G42、G40（模态）

在数控铣床上进行轮廓的铣削加工时，由于刀具半径的存在，所以刀具中心轨迹和工



件轮廓不重合。如果系统没有半径补偿功能，则只能按刀心轨迹进行编程，即在编程时事先加上或减去刀具半径，其计算相当复杂，计算量大，尤其当刀具磨损、重磨或换新刀后，刀具半径发生变化时，必须重新计算刀心轨迹，修改程序，这样既烦琐，又不利于保证加工精度。当数控系统具备刀具半径补偿功能时，数控编程只需按工件轮廓进行，数控系统会自动计算刀心轨迹，使刀具偏离工件轮廓一个刀具半径值，即进行刀具半径补偿。

$$\text{格式: } \begin{Bmatrix} G17 \\ G18 \\ G19 \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} G40 \\ G41 \\ G42 \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} G00 \\ G01 \end{Bmatrix} X_Y_Z_D_$$



说明

G40: 取消刀具半径补偿。

G41: 左刀补（在刀具前进方向左侧补偿），如图 22-4（a）所示。

G42: 右刀补（在刀具前进方向右侧补偿），如图 22-4（b）所示。

G17: 刀具半径补偿平面为 XY 平面。

G18: 刀具半径补偿平面为 XZ 平面。

G19: 刀具半径补偿平面为 YZ 平面。

X, Y, Z: G00/G01 的参数，即刀补建立或取消的终点（注：投影到补偿平面上的刀具轨迹受到补偿）。

D: G41/G42 的参数，即刀补号码（D00~D99），它代表了刀补表中对应的半径补偿值。

G40、G41、G42 都是模态代码，可相互注销。需要注意的是，刀具半径补偿平面的切换必须在补偿取消方式下进行；刀具半径补偿的建立与取消只能用 G00 或 G01 指令，而不能是 G02 或 G03 指令。

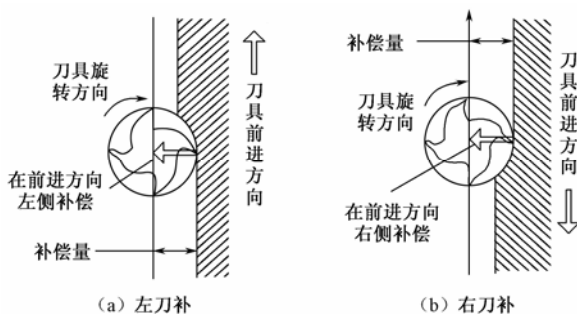


图 22-4 刀具半径补偿

【例 22-2】 考虑刀具半径补偿，编制图 22-5 所示零件的加工程序。要求建立如图中所示的工件坐标系，按箭头所指示的路径进行加工，设加工开始时刀具距离工件上表面 50mm，切削深度为 10mm。

零件程序如下：

O1008

G92 X- 10 Y- 10 Z50;



```
G90 G17;  
G42 G00 X4 Y10 D01;  
Z2 M03 S900;  
G01 Z-10 F800;  
X30;  
G03 X40 Y20 I0 J10;  
G02 X30 Y30 I0 J10;  
G01 X10 Y20;  
Y5;  
G00 Z50 M05;  
G40 X-10 Y-10 M02;
```

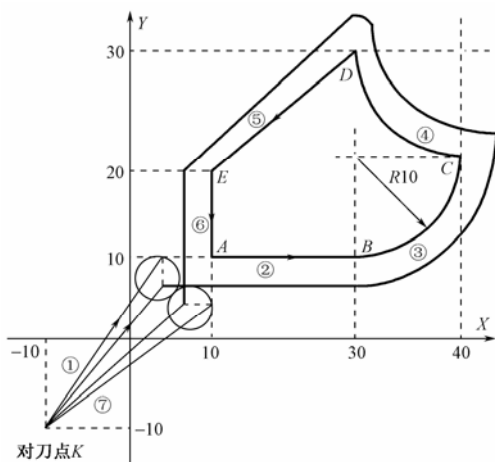


图 22-5 刀具半径补偿编程

(5) 刀具长度偏置指令 G43、G44、G49（模态）

通常，数控车床的刀具装在回转刀架上，加工中心、数控镗/铣床、数控钻床等刀具装在主轴上，由于刀具长度不同，装刀后刀尖所在位置不同，所以即使是同一把刀具，由于磨损、重磨变短，重装后刀尖位置也会发生变化。如果要用不同的刀具加工同一工件，则确定刀尖位置是十分重要的。为了解决这一问题，我们把刀尖位置都设在同一基准上，一般刀尖基准是刀柄测量线（或是装在主轴上的刀具使用主轴前端面，装在刀架上的刀具可以是刀架前端面）。编程时不用考虑实际刀具的长度偏差，只以这个基准进行编程，而刀尖的实际位置由 G43、G44 来修正。在加工中心上加工零件时，绝大多数时候要用到多把刀具，而且还要进行刀具自动交换，这样就必须对每把刀具或除基准刀具之外的所有刀具进行 Z 向的长度补偿。

刀具长度补偿指令格式：

```
G43 Z_ H _  
G43 Z_ H _  
G49 或 H0
```




说明

G49: 取消刀具长度补偿。

G43: 表示刀具长度正补偿（补偿轴终点坐标值加上偏置值）。

G44: 表示刀具长度负补偿（补偿轴终点坐标值减去偏置值）。

X, Y, Z: G00/G01 的参数, 即刀补建立或取消的终点。

H: G43/G44 的参数, 即刀具长度补偿偏置号 (H00 ~ H99), 它代表了刀具表中对应的长度补偿值 (长度补偿值是编程时的刀具长度和实际使用的刀具长度之差)。

G43、G44、G49 都是模态代码, 可相互注销。用 G43(正向偏置)、G44(负向偏置)指令设定偏置的方向。由输入的相应地址号 H 代码从刀具表 (偏置存储器) 中选择刀具长度偏置值。偏置号可用 H00 ~ H99 来指定, 偏置值与偏置号对应, 可通过 MDI 功能预先设置在偏置存储器中。

无论采用绝对方式编程还是增量方式编程, 对于存放在 H 中的数值, 在 G43 时是与 NC 程序中的 Z 轴坐标相加; 在 G44 时则是从 NC 程序中长度补偿轴运动指令的终点坐标值中减去, 计算后的坐标值成为终点坐标值。

【例 22-3】 考虑刀具长度补偿, 编制如图 22-6 所示零件的加工程序。要求建立如图中所示的工件坐标系, 按箭头所指示的路径进行加工。

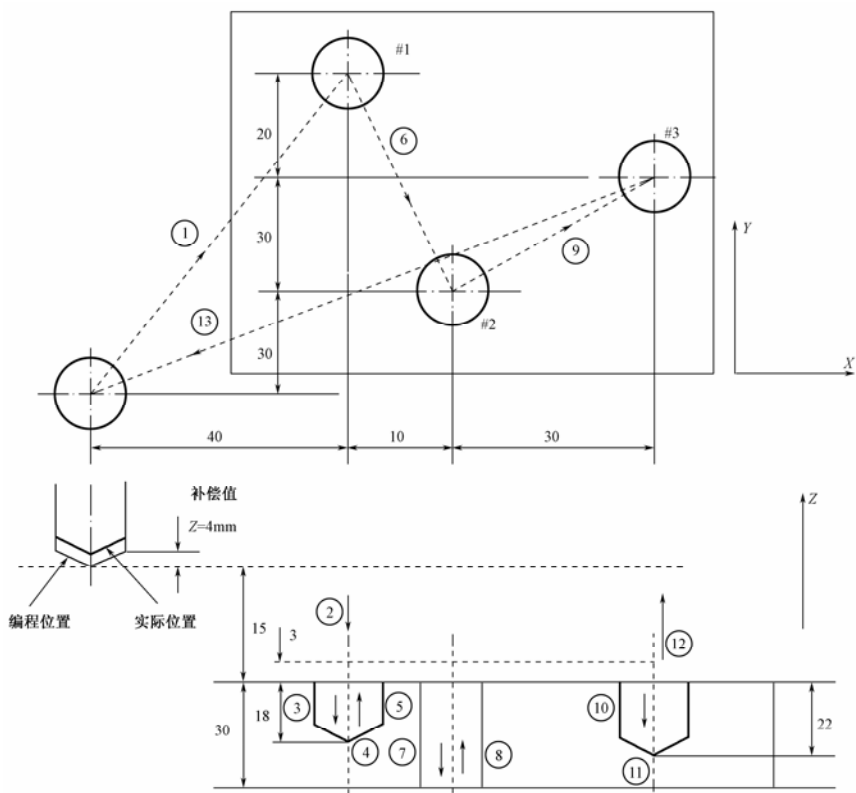


图 22-6 刀具长度补偿的应用



H01=-4.0, 预先在 MDI 功能中的“刀具表”设置 01 号刀具长度值项。
零件程序如下:

```
O0001
G92 X0 Y0 Z15;           // 起刀点坐标 (0, 0, 15)
N01 G91 G00 X40 Y80 M03;  // 用增量方式移动到#1 号点
N02 G01 G43 Z-12 H01 F100; // 移近工件表面, 建立刀具长度补偿
N03 Z-21;                // 加工#1 号孔
N04 G04 P2;
N05 G00 Z21;             // 抬刀
N06 X10.0 Y-50.0;        // 移动到#2 号点
N07 G01 Z-33;            // 加工#2 号孔
N08 G04 P2;
N09 G01 Z33;             // 抬刀
N10 X30 Y30;             // 移动到#3 号点
N11 Z-25;                // 加工#3 号孔
N12 G04 P2;
N13 G00 Z40;             // 抬刀
N14 X-80 Y-60;           // 移动到起始点
N15 M05;
N16 M30;
```

改变刀具长度补偿量, 需指定新的刀具号; 刀具长度按新的偏置值进行补偿。
例如, 设 H01 的偏置值为 5.0, H02 的偏置值为 10.0 时:

```
G90 G43 Z100.0 H01;      // Z 将达到 105.0
G90 G43 Z100.0 H02;      // Z 将达到 110.0
```

【例 22-4】 运行下列程序, 试绘制刀具的运动位置图。

```
... ..
N10 G90 G00 X0 Y0 Z30;
N20 G01 Z15 F200;
N30 G01 X30;
N40 G43 G01 Z15 H01;
N50 G01 X60;
N60 G43 G01 Z15 H02;
N70 G49 G01 Z30;
N80 M30;
... ..
```

刀具的运动位置如图 22-7 所示。

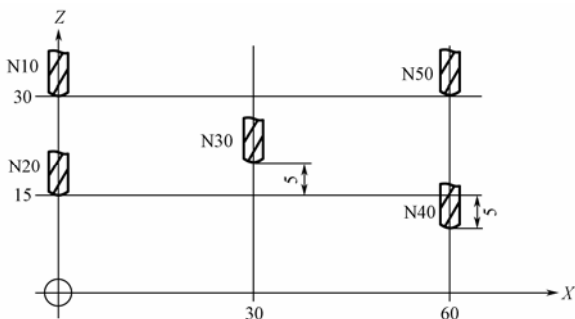


图 22-7 刀具的运动位置

(6) 固定循环功能指令

在前面介绍的常用加工指令中，每一个 G 指令一般都对应机床的一个动作，它需要一个程序段来实现。为了进一步提高编程的工作效率，FANUC 系统设计有固定循环功能，它规定对于一些典型孔加工中的固定和连续的动作，统一用一个 G 指令表达。用固定循环指令来选择孔加工方式，使用一个程序段就可以完成一个孔加工的全部动作。继续加工孔时，如果孔加工的动作无须变更，则程序中所有模态的数据可以不写，因此可以大大简化程序。

常用的固定循环指令能完成的工作有扩钻孔、镗孔、攻螺纹等。这些固定循环通常包括以下 6 个基本操作动作，如图 22-8 所示。

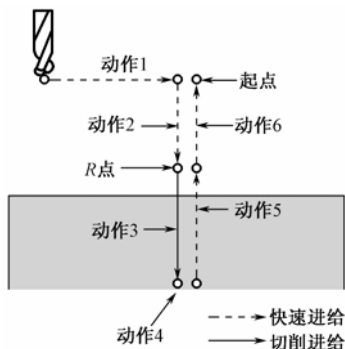


图 22-8 固定循环指令刀具示意图

动作 1——在 XY 平面定位，即定位 X 轴和 Y 轴，使刀具快速定位到孔加工所对应的 Z 轴位置。

动作 2——快进到 R 点平面。刀具自起点快速进给到 R 点。

动作 3——孔的切削加工。以切削进给的方式执行孔加工的动作。

动作 4——在孔底的动作。包括暂停、主轴准停、刀具移位等动作。

动作 5——返回到 R 点平面。继续孔的加工而又可以安全移动刀具时选择 R 点。

动作 6——快速返回到起点。孔加工完后一般应选择起点。



说明

① 初始平面：初始平面是为安全下刀而规定的一个平面。初始平面到零件表面的距离可以任意设定在一个安全的高度上，当使用同一把刀具加工若干孔时，只有孔间存在障碍、



需要跳跃或全部孔加工完毕时,才使用 G98 指令使刀具返回到初始平面上的起点。

② R 点平面: R 点平面又叫做 R 参考平面,是刀具下刀时自快进转为工作进给的高度平面,距工件表面的距离(又称刀具切入距离)主要考虑工件表面尺寸的变化,一般可取 2~5mm。使用 G99 指令时,刀具将返回到该平面上的 R 点。该平面为在孔口时,快速运动与进给运动的转换位置。

③ 孔底平面:加工不通孔时孔底平面就是孔底的 Z 轴高度,加工通孔时一般刀具还要伸出工件底平面一段距离(又称刀具切出距离),主要是保证全部孔深都加工到尺寸;钻削加工时还应考虑钻头钻尖对孔深的影响。

④ 定位平面:由平面选择指令 G17、G18 或 G19 决定。定位轴是除了钻孔轴以外的轴。

⑤ 数据形式:固定循环指令中 R 与 Z 的数据指定与 G90 或 G91 的方式选择有关,图 22-9 所示为选择 G90 或 G91 时的坐标计算方法。选择 G90 方式时 R 与 Z 一律取其终点坐标值,选择 G91 方式时 R 则是指自起点到 R 点的距离, Z 是指自 R 点到孔底平面上 Z 点的距离。

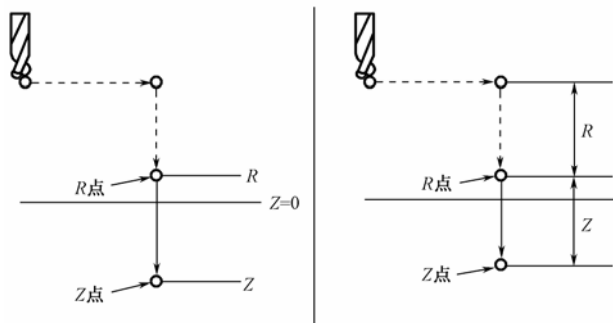


图 22-9 选择 G90 或 G91 时 R 与 Z 坐标的计算

指令编程格式:

G90/G91 G98/G99 G73~G89 X-Y-Z-R-Q-P-F-K-
G80 撤销固定循环

其中 G90/G91——数据方式,当采用绝对方式 G90 时 Z 值为孔底的 Z 坐标值;当采用增量方式 G91 时, Z 值规定为 R 平面到孔底的距离;

G98/G99——返回平面位置, G98 指令返回起始平面, G99 指令返回参考平面;

G73~G89——孔加工方式;

X、Y——孔心位置坐标;

R——参考平面的高度,绝对方式时,为 R 平面的绝对坐标值;增量方式时,为起始平面到 R 平面的增量距离;

Q——在 G73、G83 方式时表示每次切削深度(每次切削进给的背吃刀量),在 G76、G87 方式时表示偏移量,它始终是一个增量值;

P——孔底暂停时间;

F——切削进给速度;

K——重复加工次数,当 K 没有规定时,默认为 K=1;当 K=0 时,孔加工数据存入,但不执行加工;



Z——孔的深度；
F——进给速度（mm/min）。
固定循环功能指令见表 22-3。

表 22-3 固定循环功能指令

G 代码	孔加工作（-Z 方向）	在孔底的动作	刀具返回方式（+Z 方向）	用 途
G73	分次，切削进给，间歇进给	—	快速	高速深孔往复排屑钻
G74	切削进给	暂停—主轴正转	切削进给	攻左旋螺纹
G76	切削进给	主轴定向停止—刀具移位	快速	精镗孔
G80	—	—	—	取消固定循环
G81	切削进给	—	快速	钻孔
G82	切削进给	暂停	快速	铰孔、镗阶梯孔
G83	间歇进给	—	快速	深孔往复排屑钻
G84	切削进给	暂停—主轴反转	切削进给	攻右旋螺纹
G85	切削进给	—	切削进给	精镗孔
G86	切削进给	主轴停止	快速	镗孔
G87	切削进给	主轴停止	快速返回	反镗孔
G88	切削进给	暂停—主轴停止	手动操作	镗孔
G89	切削进给	暂停	切削进给	精镗阶梯孔

① 钻孔循环指令 G81 格式：

G81 X— Y— Z— R— Q— F— K—；

G81 指令用于正常钻孔，切削进给执行到孔底，然后刀具从孔底快速移动退回。X、Y 为孔的位置，Z 为孔的深度，F 为进给速度（mm/min），R 为参考平面的高度，Q 为每次切削进给的背吃刀量，K 为重复次数。G 可以是 G98 和 G99，G98 和 G99 两个模态指令控制孔加工循环结束后刀具是返回初始平面还是参考平面：G98 返回初始平面，为默认方式；G99 返回参考平面，如图 22-10 所示。

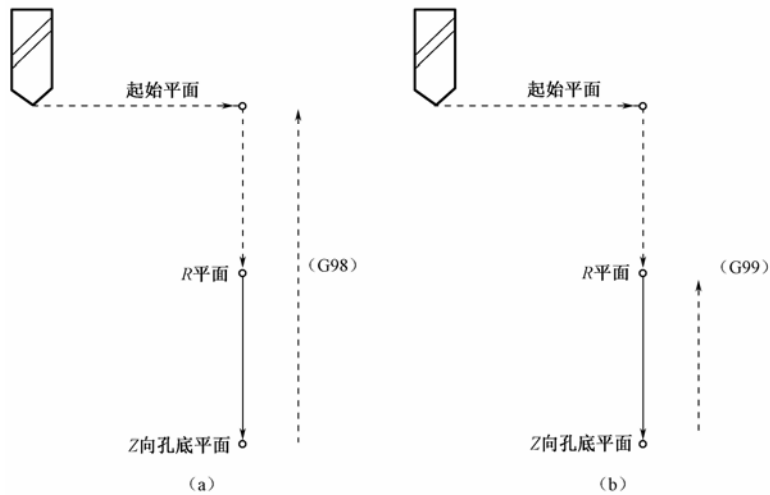


图 22-10 G81 标准钻孔循环



② 深孔往复排屑钻孔指令 G83 格式:

G83 X— Y— Z— R— Q— F— K—;

G83 指令每次刀具间歇进给后回退至 R 点平面, 如图 22-11 所示。在第二次及以后的切削进给中快速移动到上次钻孔结束之前的一点, 距离由系统参数来设定。X、Y 为孔的位置, Z 为孔的深度, F 为进给速度 (mm/min), R 为参考平面的高度, Q 为每次切削进给的背吃刀量, K 为重复次数。

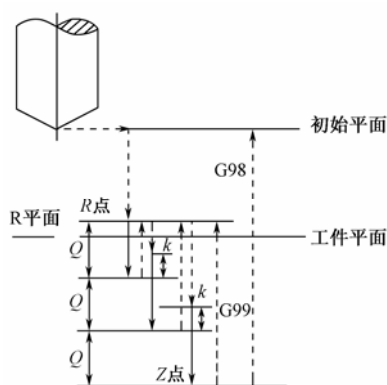


图 22-11 深孔往复排屑钻指令 G83

三、任务解析

由任务书中的零件图可知, 模具型芯上表面需加工 3 个 $\phi 10H7$ 的顶针孔和 4 个 $\phi 20H7$ 的孔。根据毛坯图确定加工工艺路线: 装夹, 找正→对刀→粗、精铣上表面, 留精铣余量 0.5mm→铣削高为 5mm 的圆台→中心钻钻 4 个 $\phi 20$ 及 3 个 $\phi 10$ 的中心孔→用 $\phi 19.7$ 的麻花钻钻削右下角的孔, 然后按逆时针顺序, 依次钻削 4 个 $\phi 20$ 的孔→用 $\phi 9.7$ 的麻花钻钻削右下角的孔, 然后按逆时针顺序, 依次钻削 3 个 $\phi 10$ 的孔→用 $\phi 20$ 的铰刀铰削右下角 $\phi 20H7$ 的孔, 然后按逆时针方向依次铰削 4 个 $\phi 20H7$ 的孔→用 $\phi 10$ 的铰刀铰削右下角 $\phi 10H7$ 的孔, 然后按逆时针方向依次铰削 3 个 $\phi 10H7$ 的孔。

四、任务实施 (零件加工工艺分析与编程)

1. 工装

采用机用虎钳装夹的方法, 底部用垫块垫起。

2. 刀具选择

数控加工刀具卡片见表 22-4。



表 22-4 数控加工刀具卡片

产品名称或代号		×××		零件名称		模具型芯		零件图号	×××
序号	刀具号	刀具规格名称		数量	加工表面		刀尖半径 R/mm	刀尖方位 <i>T</i>	备注
1	T01	φ100 端铣刀		1	粗铣 <i>B</i> 平面，余量 0.3 mm				
2				1	精铣 <i>B</i> 平面至要求尺寸				
3	T02	φ30 立铣刀		1	铣削凸台，保证高度				
4	T03	φ2 中心钻		1	钻 φ20H7 孔和钻 φ10H7 孔				
5	T04	φ19.7 麻花钻		1	钻 4 个 φ20H7 至 φ19.7				
6	T05	φ9.7 麻花钻		1	钻 3 个 φ10H7 至 φ9.7				
7	T06	φ20H7 铰刀		1	铰 4 个 φ20H7 至要求尺寸				
8	T07	φ10H7 铰刀		1	铰 3 个 φ10H7 至要求尺寸				
编制		×××	审核	×××	批准	×××		共 页	第 页

3. 制作加工工艺卡

模具型芯零件加工工步及切削用量列于加工工艺卡中，见表 22-5。

表 22-5 加工工艺卡

单位名称	×××		产品名称或代号		零件名称		零件图号	
			×××		模具型芯		×××	
工序号		程序编号		夹具名称		使用设备		车间
001		×××		机用虎钳		数控铣床/加工中心		×××
工步号	工步内容		刀具号	刀具规格 (mm)	主轴转速 <i>n</i> /(r/min)	进给速度 <i>f</i> /(mm/min)	背吃刀量 <i>a_p</i> /(mm)	备注
1	装夹，找正，对刀							手动
2	粗铣 <i>B</i> 平面，余量 0.3mm		T01	φ100 端铣刀	100	60	0.7	自动
3	精铣 <i>B</i> 平面至要求尺寸		T01	φ100 端铣刀	150	80	0.3	自动
4	铣削凸台，保证高度		T02	φ30 立铣刀	180	30		自动
5	钻 φ20H7 中心孔和钻 φ10H7 中心孔		T03	A2	800	60		自动
6	钻 4 个 φ20H7 至 φ19.7		T04	φ19.7 麻花钻	200	50	9.9	自动
7	钻 3 个 φ10H7 至 φ9.7		T05	φ9.7 麻花钻	250	60	4.9	自动
8	铰 4 个 φ20H7 至要求尺寸		T06	φ20H7 铰刀	50	50	0.1	自动
9	铰 3 个 φ10H7 至要求尺寸		T07	φ10H7 铰刀	80	60	0.1	自动
编制		×××	审核	×××	批准	×××	年 月 日	
							共 页	第 页



4. 程序编制

模具型芯数控加工程序清单见表 22-6。

表 22-6 模具型芯数控加工程序清单

程序号: O0022		
程序段号	程序内容	程序说明
N10	G54 G90 G00 X0 Y0;	绝对坐标, 建立工件坐标系, 快速移动至 X0Y0 位置。安装 T01 号刀具, 粗铣 B 平面, 余量 0.5mm
N12	S100 M03;	主轴正转, 主轴转速 100 r/min
N14	G00 X-100 Y45;	快速移动至 X -100 Y45 点
N16	G43 Z5 H01;	1 号刀具长度补偿, 快进到工件上方 5mm 处
N18	G01 Z0.5 F60;	直线进给到工件上 0.5 mm 处
N20	X80;	直线插补至 X80
N22	Y-50;	直线插补至 Y -50
N24	Y-100;	直线插补至 Y -100
N26	G00 Z5;	刀具沿 Z 轴快速定位至 5mm 处, 利用 T01 号刀具, 精铣 B 平面
N28	S150 M03;	主轴正转, 主轴转速 150 r/min
N30	X-100 Y45;	快速移动至 X -100 Y45 点
N32	G01 Z0 F80;	直线进给至工件上表面
N34	X80;	直线进给至 X80
N36	Y-50;	直线进给至 Y-50
N38	X-150;	直线进给至 X-150
N40	G00 Z200;	刀具沿 Z 轴快速定位至 200 mm 处
N42	M05;	主轴停止
N44	M00;	程序停止, 安装 T02 号刀具, 铣削(精铣)凸台, 保证厚度(未留余量)
N46	Z20 M08;	主轴正转, 转速为 420r/min
N48	G90 G00 G54 X62 Y-70;	绝对坐标, 快速移动至 X62 Y -70 位置
N50	G43 Z5 H02;	直线进给工件上表面下方 5 mm 处
N52	G01 Z-5 F120;	7 号刀具长度补偿, 快速移动至工件上方 5mm 处
N54	Y50;	直线进给至 Y50 位置
N56	X35;	直线进给至 X35 位置
N58	Y-40;	直线进给至 Y-40 位置, 铣削凸台右侧平面
N60	X-40;	直线进给至 X -40 位置
N62	Y50;	直线进给至 Y50 位置
N64	X-62;	直线进给至 X -62 位置
N66	Y-50;	直线进给至 Y -50 位置
N68	X0;	直线进给至 X0 位置
N70	Y-40;	直线进给至 Y -40 位置
N72	G02 J40;	顺时针铣削 $\phi 50$ 圆台(铣整个圆台), 直径为 40 mm
N74	G01 Y-45;	直线进给至 Y-45 位置
N76	G00 Z200;	刀具沿 Z 轴快速定位至 200 mm 处
N78	N78 M05;	主轴停止
N80	M00;	程序停止, 安装 T03 号刀具, 用中心钻钻 $4 \times \phi 20H7$ 及 $3 \times \phi 10H7$ 的中心孔



程序号: O0022		
程序段号	程序内容	程序说明
N82	S1000 M03;	主轴正转, 转速 1000 r/min
N84	G54 G90 G00 X50 Y-30 ;	绝对坐标, 快速移动至 X50 Y-30 位置
N86	G43 Z30 H02;	3 号刀具长度补偿, 快速移动至工件上方 30 mm 处
N88	G99 G81 Z-7 R0 F150;	调用孔加工固定循环指令 G81, 钻中心孔, R 平面位于工件凸台上表面
N90	Y30;	继续在 Y30 位置钻中心孔
N92	X-50;	继续在 X-50 位置钻中心孔
N94	Y-30;	继续在 Y-30 位置钻中心孔
N96	X-12.5 Y0 Z-2 R5;	在凸台上钻中心孔, R 平面位于凸台上表面 5 mm 处
N98	X6.25 Y10.825;	继续在 X6.25 Y10.825 位置钻中心孔
N100	Y-10.825;	继续在 Y-10.825 位置钻中心孔
N102	G80 G00 Z200;	取消孔加工固定循环, 快速定位至 Z200 处
N104	M5;	主轴停止
N106	M00;	程序停止, 安装 T04 号麻花钻, 钻 $4 \times \phi 20H7$ 底孔至 $\phi 19.7$
N108	S350 M03;	主轴正转, 转速为 350 r/min
N110	G54 G90 G00 X50 Y-30;	绝对坐标, 快速移动至 X50, Y -30 位置
N112	G43 G00 Z30 H03;	4 号刀具长度补偿, 快速移动至工件上方 30 mm 处
N114	G99 G83 Z-32 R3 Q5 F70;	调用深孔钻循环 G83 钻孔, 每次切深 5mm, R 平面位于工件凸台上表面 3mm 处
N116	Y30;	继续在 Y30 位置钻孔
N118	X-50;	继续在 X-50 位置钻孔
N120	Y-30;	继续在 X-30 位置钻孔
N122	G80 G00 Z200;	取消孔加工固定循环, 快速定位至 Z200
N124	M05;	主轴停止
N126	M00;	程序暂停, 安装 T05 号麻花钻, 钻 $3 \times \phi 10H7$ 底孔至 $\phi 9.7$
N128	S250 M03;	主轴正转, 转速为 250 r/min
N130	G54 G90 G00 X6.25 Y10.825;	绝对坐标, 快速移动至 X6.25 Y10.825 位置
N132	G43 G00 Z30 H04;	5 号刀具长度补偿, 快速移动至工件上方 30 mm 处
N134	G98 G83 Z-32 R5 Q3 F60;	调用深孔钻循环指令 G83, 钻孔, 每次切深 3mm 处, 每个孔加工完成后返回初始平面
N136	Y-10.825;	继续在 Y -10.825 位置钻孔
N138	X-12.5 Y0;	继续在 X -12.5 Y0 位置钻孔
N140	G80 G00 Z200;	取消孔加工固定循环, 快速定位至 Z200 处
N142	M05;	主轴停止
N144	M00;	程序停止, 安装 T06 号刀具, 铰 $4 \times \phi 20H7$ 底孔至 M00; 尺寸 $\phi 20H7$
N146	S50 M03;	主轴正转, 主轴转速为 50 r/min
N148	G54 G90 G00 X50 Y-30;	绝对坐标, 快速移动至 X50 Y-30
N150	G43 G00 Z30 H05;	6 号刀具长度补偿, 快速移动至工件上方 30 mm 处
N152	G99 G81 Z-30 R0 F50;	调用孔加工循环, 铰孔, R 平面位于工件凸台上表面
N154	Y30;	继续在 Y30 位置铰孔
N156	X-50;	继续在 X-50 位置铰孔
N158	Y-30;	继续在 Y-30 位置铰孔



续表

程序号：O0022		
程序段号	程序内容	程序说明
N160	G80 G00 Z200;	取消孔加工固定循环，快速定位至 Z200 处
N162	M05;	主轴停止
N164	M00;	程序停止，安装 T07 号铰刀，铰 3× ϕ 10H7 底孔至尺寸 ϕ 10H7
N166	S80 M03;	主轴正转，主轴转速为 80r/min
N168	G54 G90 G00 X6.25 Y10.825;	绝对坐标，快速移动至 X6.25 Y10.825 位置
N170	G43 G00 Z30 H06;	7 号刀具长度补偿，快速移动至工件上方 30mm 处
N172	G99 G81 Z-30 R5 F60;	调用孔加工循环，铰孔，R 平面位于工件凸台上表面 5mm 处
N174	Y-10.825;	继续在 Y -10.825 位置铰孔
N176	X-12.5 Y0;	继续在 X -12.5 Y0 位置铰孔
N178	G80 G00 Z200;	取消孔加工固定循环，快速定位至 Z200 处
N180	M05;	主轴停止
N182	M02;	程序结束

五、任务学习手记（见表 22-7）

表 22-7 任务学习手记

学生姓名		第____组	组名	
同组人姓名				
任务学习与执行过程				
学习体会				
巩固练习				
个人自评	本人签名：_____			
小组评价	组长签名：_____			
教师评价	教师签名：_____			

一、项目任务书

铣孔（面）数控加工程序的编制项目任务书，见表 23-1。

表 23-1 项目任务书

135



二、学习导读

编程时，为了简化程序，提高编程的效率，当在零件上出现形状相同、对称或成比例等加工内容时，可以使用一些特殊的简化编程指令，以达到缩短程序长度、减少编程时间的目的。

1. 子程序

当一个工件上有相同的加工内容时，常采用调用子程序（subprogram）的方法进行编程。调用子程序的程序叫做主程序，被调用的程序叫做子程序。子程序的编制与一般程序基本相同，只是程序结束代码为 **M99**，表示子程序结束并返回到调用子程序的主程序中。

调用子程序的指令格式：

M98 P ~ L

其中 **P**——调用的子程序号，后面跟 4 位阿拉伯数字；

L——调用次数，后面跟 4 位阿拉伯数字。

当子程序的最后程序段只用 **M99** 时，子程序结束，返回到调用程序段后面的一个程序段，如图 23-1 所示。

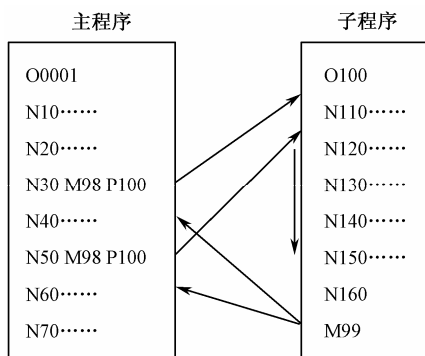


图 23-1 子程序调用示意图

【例 23-1】 如图 23-2 所示，在一块平板上加工 3 个边长为 10mm 的等边三角形，每边的槽深为 -2mm，工件上表面为 Z 向零点。其程序的编制就可以采用调用子程序的方式来实现（编程时不考虑刀具补偿）。用 2mm 指型铣刀。

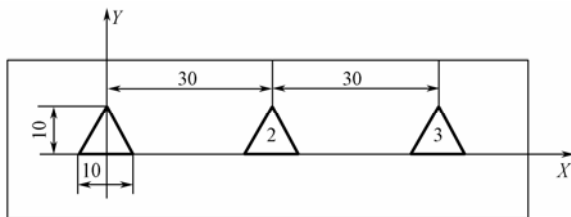


图 23-2 模板零件图样



主程序：

```

O0010
N10 G54 G90 G01 Z40 F2000;           //进入工件加工坐标系
N20 M03 S800;                         //主轴启动
N30 G00 Z3;                           //快进到工件表面上方
N40 G01 X 0 Y8.66;                    //到 1#三角形上顶点
N50 M98 P20;                          //调 20 号切削子程序切削三角形
N60 G90 G01 X30 Y8.66;                //到 2#三角形上顶点
N70 M98 P0020;                        //调 20 号切削子程序切削三角形
N80 G90 G01 X60 Y8.66;                //到 3#三角形上顶点
N90 M98 P20;                          //调 20 号切削子程序切削三角形
N160 G90 G01 Z40 F2000;               //抬刀
N170 M05;                             //主轴停
N180 M30;                             //程序结束
    
```

子程序：

```

O0020
N10 G91 G01 Z -2 F100;                //在三角形上顶点切入（深）2mm
N20 G01 X -5 Y-8.66;                  //切削三角形
N30 G01 X 10 Y 0;                     //切削三角形
N40 G01 X 5 Y 8.66;                   //切削三角形
N50 G01 Z 5 F2000;                    //抬刀
N60 M99;                              //子程序结束
    
```

2. 坐标系旋转功能（G68、G69）

使用坐标系旋转功能可以旋转一个编程图形，相当于实际位置相对于编程位置旋转了某一角度。当一个图形由若干个相同形状的图形组成，且分布在由一个图形旋转便可得到的位置上时，只要编出一个形状的程序并进行旋转，就可以得到这个图形。这就是坐标系旋转功能。如图 23-3 所示，1 为程序指令的图形，2 为旋转后的图形，O 为旋转中心。

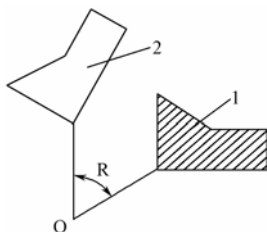


图 23-3 坐标系旋转示意图

坐标系旋转指令格式：

```

G68 X - Y - R - ;
G69 (取消坐标系旋转)
    
```



其中 X, Y——旋转中心的坐标值;

R——旋转角度 (单位: $^{\circ}$), 指定范围为 $\pm 360^{\circ}$, “+” 表示逆时针方向, “-” 表示顺时针方向; 可为绝对值, 也可为增量值。

【例 23-2】 试编制如图 23-4 所示凸台零件的数控加工程序。

```
M06 T01;                      //换刀
M03 S800;
G68 X0 Y0 R15;                //开始坐标旋转
G54 G00 X0 Y-45 M08;
G43 G00 Z50 H01;
G00 Z5;
G01 Z-4 F500;
G41 G01 X0 Y-17.5 D01 F230;
G01 X-25,R7.5;                 //倒圆角
G01 Y17.5,R7.5;               //倒圆角
G01 X25, R7.5;                 //倒圆角
G01 Y-17.5, R7.5;             //倒圆角
G01 X0;
G40 G01 Z0 Y-45 F500;
G00 Z50 M09;
G69;                          //结束坐标旋转
```

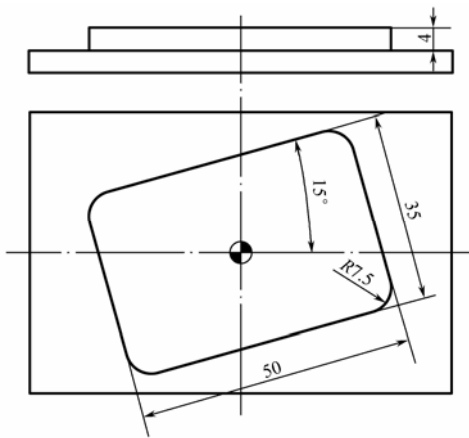


图 23-4 凸台零件图

三、任务解析

任务书中密封垫零件需加工 $\phi 70$ 圆周上的 6 个台阶孔和圆心处的大台阶孔。

加工工艺路线: 装夹, 找正→对刀→中心钻钻 $\phi 70$ 圆周上的 6 个中心孔→麻花钻钻 $\phi 70$ 圆周上的 6 个通孔→平底立铣刀铣 $\phi 70$ 圆周上的 6 个 $\phi 11$ 的通孔至 $\phi 12$ →平底立铣刀铣 6 个 $\phi 12$ 的通孔至 $\phi 16$ 及深度为 4mm 的台阶孔→平底立铣刀铣削大圆心处的大台阶孔, 深度为 4mm。



四、任务实施（零件加工工艺分析与编程）

1. 工装

采用机用虎钳装夹的方法，底部用垫块垫起。

2. 刀具选择

数控加工刀具卡片见表 23-2。

表 23-2 数控加工刀具卡片

产品名称或代号		×××	零件名称		密封垫		零件图号	×××
序号	刀具号	刀具规格名称		数量	加工表面	刀尖半径 R/ mm	刀尖方位 T	备注
1	T01	A2 中心钻		1	钻 $\phi 70$ 圆周上的 6 个中心孔			
2	T02	$\phi 11$ 麻花钻		1	钻 $\phi 70$ 圆周上的 6 个通孔			
3	T03	$\phi 12$ 平底立铣刀		1	铣所有台阶孔			
编制		×××	审核	×××	批准	×××		共 页 第 页

3. 制作加工工艺卡

密封垫零件加工工步及切削用量列于加工工艺卡中，见表 23-3。

表 23-3 加工工艺卡

单位 名称	×××		产品名称或代号		零件名称		零件图号	
			×××		密封垫		×××	
工序号	程序编号		夹具名称		使用设备		车间	
001	×××		机用虎钳		数控铣床/加工中心		×××	
工 步 号	工步内容		刀具号	刀具规格 (mm)	主轴转速 n/(r/min)	进给速度 f/(mm/min)	背吃刀量 a _p /(mm)	备注
1	装夹，找正，对刀							手动
2	钻 $\phi 70$ 圆周上的 6 个中心孔		T01		600	80		自动
3	钻 $\phi 70$ 圆周上的 6 个通孔		T02		300	80		自动
4	铣所有台阶孔		T03		100	80		自动
编制	×××	审核	×××	批准	×××	年 月 日		共 页 第 页

4. 程序编制

密封垫数控加工程序清单见表 23-4。



表 23-4 密封垫数控加工程序清单

	注：选择 $\phi 30$ 孔中心为编程坐标系 XOY 的原点，选择工件的上平面为工件坐标系的 Z=0 面，选择距离工件上表面 5mm 处为 R 平面，机床坐标系设在 G54 上	
	O0023	
程序段号	程序内容	程序说明
N10	G90 G21 G54 G40 G49 G80;	采用绝对尺寸指令，公制，建立工件坐标系，注销刀具半径补偿和固定循环功能。主轴安装 T01 号刀具，即用 $\phi 2$ 中心钻钻 6 个中心工艺孔
N12	M03 S600;	主轴正转，主轴转速 600r/min
N14	M08;	冷却液开
N16	G43 H01 Z100;	1 号刀具（中心钻）长度补偿，快速移动至工件上方 100mm 处
N18	G00 X0 Y0;	快速移动至 X0 Y0 位置
N20	Z5;	快速移动至工件上方 5mm 处
N22	G99 G81 X0 Y35 Z -2 R5 F80;	调用孔加工循环指令 G81，在 X0 Y35 处钻中心孔，R 平面位于工件上表面 5 mm 处
N24	X-30.311 Y17.5;	继续在 X-30.311 Y17.5 处钻中心孔
N26	Y-17.5;	继续在 X-30.311 Y-17.5 处钻中心孔
N28	X0 Y-35;	在 X0 Y-35 处钻中心孔
N30	X30.311 Y-17.5;	在 X30.311 Y -17.5 处钻中心孔
N32	X30.311 Y17.5;	在 X30.311 Y17.5 处钻中心孔
N34	G80 G00 Z200 M05;	取消孔加工固定循环，快速定位至 Z200 处
N36	M09;	主轴停止，冷却液关闭
N38	M00;	程序停止，安装 T02 号刀具，用 $\phi 11$ 钻头钻 6 个孔
N40	G90 G21 G40 G49 G80;	采用绝对尺寸指令，公制，注销刀具半径补偿和固定循环功能
N42	M03 S300;	主轴正转，转速为 300r/min
N44	M08;	冷却液开
N46	G43 G00 H02 Z100;	2 号刀具长度补偿，快速移动至工件上方 100mm 处
N48	X0 Y0;	快速移动至 X0 Y0 处
N50	Z5;	快速移动至工件上方 5mm 处
N52	G99 G81 X0 Y35 Z-15 R2 F80;	调用孔加工循环指令 G81，在 X0 Y35 处加工孔
N54	X-30.311 Y17.5;	继续在 X - 30.311 Y17.5 处钻孔
N56	Y-17.5;	继续在 X-30.311 Y-17.5 处钻孔
N58	X0 Y-35;	继续在 X0 Y-35 处钻孔
N60	X30.311 Y-17.5;	继续在 X30.311 Y -17.5 处钻孔
N62	Y17.5;	继续在 X30.311 Y17.5 处钻孔
N64	G80 G00 Z200;	取消孔加工固定循环，快速定位至 Z200 处
N68	M05 M09;	主轴停止，冷却液关闭
N70	M00;	程序停止，安装 T03 号刀具，用 $\phi 12$ 铣 $\phi 70$ 刀铣圆周上 6 个台阶孔中的 $\phi 12$ 通孔
N72	G90 G21 G40 G49 G80;	采用绝对尺寸指令，公制，注销刀具半径补偿和固定循环功能
N74	M03 S100;	主轴正转，转速为 100r/min
N76	M08;	冷却液开
N78	G43 G00 H03 Z100;	3 号刀具长度补偿，快速移动至工件上方 100 mm 处
N80	G00 X0 Y0;	快速定位至 X0 Y0 处
N82	Z5;	快速定位至 Z5 处
N84	G81 X0 Y35 Z-11 R2 F80;	调用孔加工固定循环指令 G81，在 X0 Y35 处用铣刀加工孔、R 平面位于工件上表面 2 mm 处



续表

程序段号	程序内容	程序说明
N86	X-30.311 Y17.5;	继续在 X-30.311 Y17.5 处加工孔
N88	Y-17.5;	继续在 X-30.311 Y-17.5 处加工孔
N90	X0 Y-35;	继续在 X0 Y-35 处加工孔
N92	X30.311 Y-17.5;	继续在 X30.311 Y-17.5 处加工孔
N94	Y17.5;	继续在 X30.311 Y17.5 处加工孔
N96	G80 G00 Z100;	取消孔加工固定循环,快速定位至 Z100 处,准备用 $\phi 12$ 立铣刀铣 6 个 $\phi 16$ 台阶孔
N98	M98 P2301;	调用子程序 O2301 铣第一孔
N100	G68 X0 Y0 R60;	原坐标系以 X0 Y0 为旋转中心,逆时针转 60°
N102	M98 P2301;	调用子程序 O2301 铣第二孔
N104	G69;	取消旋转坐标系
N106	G68 X0 Y0 R120;	原坐标系以 X0 Y0 为旋转中心,逆时针转 120°
N108	M98 P2301;	调用子程序 O2301 铣第三孔
N110	G69;	取消坐标系旋转
N112	G68 X0 Y0 R180;	原坐标系以 X0 Y0 为旋转中心,逆时针转 180°
N114	M98 P2301;	调用子程序 O2301 铣第四孔
N116	G69;	取消坐标系旋转
N118	G68 X0 Y0 R240	原坐标系以 X0 Y0 为旋转中心,逆时针转 240°
N120	M98 P2301;	调用子程序 O2301 铣第五孔
N122	G69;	取消坐标系旋转
N124	G68 X0 Y0 R300;	原坐标系以 X0 Y0 为旋转中心,逆时针转 300°
N126	M98 P2301;	调用子程序 O2301 铣第六孔
N128	G69;	取消坐标系旋转
N130	G00 Z100;	快速定位至工件上方 100 mm 处
N132	X0 Y0;	快速定位至 X0 Y0 处
N134	Z10;	快速定位至 Z10 处
N136	G01 Z-11 F80;	直线进给至工件下方 11 mm 处,准备铣密封垫中心处 $\phi 25$ 孔
N138	Y2.5;	直线进给至 Y2.5 位置
N140	G41 X10 D03;	直线进给 X10,执行 3 号刀具半径补偿
N142	G03 X0 Y12.5 R10;	圆弧切向切入 X0,Y12.5 处
N144	G03 J-12.5;	逆时针铣削 $\phi 25$ 孔的内表面(整圆)
N146	X-10 Y7.5 R10;	圆弧切向切出至 X-10,Y7.5 处
N148	G40 G01 X0 Y0;	取消刀具半径补偿,直线进给至 X0 Y0 处
N150	G01 Z-4;	直线进给至工件下表面 4mm 处
N152	G41 G03 X0 Y15 R7.5 D03;	3 号刀具半径补偿,圆弧切入至 X0,Y15 处
N154	G03 J-15;	逆时针铣削直径为 30 的内圆表面
N155	G03 X-7.5 Y7.5	圆弧切出至 X-7.5,Y7.5
N156	G40 G01 X0 Y0;	取消刀具半径补偿,直线进给至 X0 Y0 处
N158	G0 Z100;	快速定位至 Z100 处
N160	M05;	主轴停止
N162	M30;	程序结束
O2301	铣削 $\phi 16$ 台阶孔子程序	
N10	G90 G00 X0 Y35;	绝对尺寸,快速定位 X0 Y35
N12	Z10;	快速定位 Z10 处
N14	G01 Z-4 F80;	直线进给至工件下方 4 mm 处
N16	Y36;	直线进给至 Y36 处



续表

N18	G41 X7 D03;	3 号刀具半径补偿，直线进给至 X7,Y36 处
N20	G03 X0 Y43 R7;	逆时针圆弧切向切入 X0 Y43 处
N22	G03 J-8;	逆时针铣削 $\phi 16$ 内圆
N24	X-7 Y36 R7;	逆时针圆弧切向切出至 X-7 Y36 处
N26	G40 G01 X0;	取消刀具半径补偿，运动至 X0 处
N28	G0 Z10;	快速定位至 Z10 处
N30	M99;	子程序结束

五、任务学习手记（见表 23-5）

表 23-5 任务学习手记

学生姓名		第____组	组名	
同组人姓名				
任务学习与执行过程				
学习体会				
巩固练习				
个人自评	本人签名：_____			
小组评价	组长签名：_____			
教师评价	教师签名：_____			



任务二十四 螺纹孔（面）数控加工程序的编制

一、项目任务书

螺纹孔（面）数控加工程序的编制项目任务书，见表 24-1。

表 24-1 项目任务书

情境名称	孔（面）数控加工程序的编制		
学习目标	1. 掌握数控铣床/加工中心攻螺纹的加工工艺 2. 学会正确选用数控铣床/加工中心攻螺纹刀具，合理选择切削用量 3. 掌握数控铣床/加工中心攻螺纹编程技巧		
<div></div>			
零件名称	阀盖	材料	45 钢
<div></div>			
零件毛坯图			
任务内容：制定阀盖的加工工艺并编制其数控加工程序			
学习指令：G84，G16，G15，G81，G83			
备 注			



二、学习导读

(1) 右旋攻螺纹循环指令 G84

格式:

$$\left\{ \begin{matrix} \text{G98} \\ \text{G99} \end{matrix} \right\} \text{G84X_Y_Z_R_P_F_L_};$$

G84 右旋攻螺纹时从 R 点到 Z 点主轴正转，在孔底暂停后，主轴反转，然后退回。需要指出的是，在 G84 切削螺纹期间速度倍率、进给保持均不起作用（进给速度=主轴转速×螺纹导程），否则会产生乱扣。因此，编程时要根据主轴转速计算进给速度。该指令执行前，用辅助功能使主轴旋转。G84 指令动作循环如图 24-1 所示。

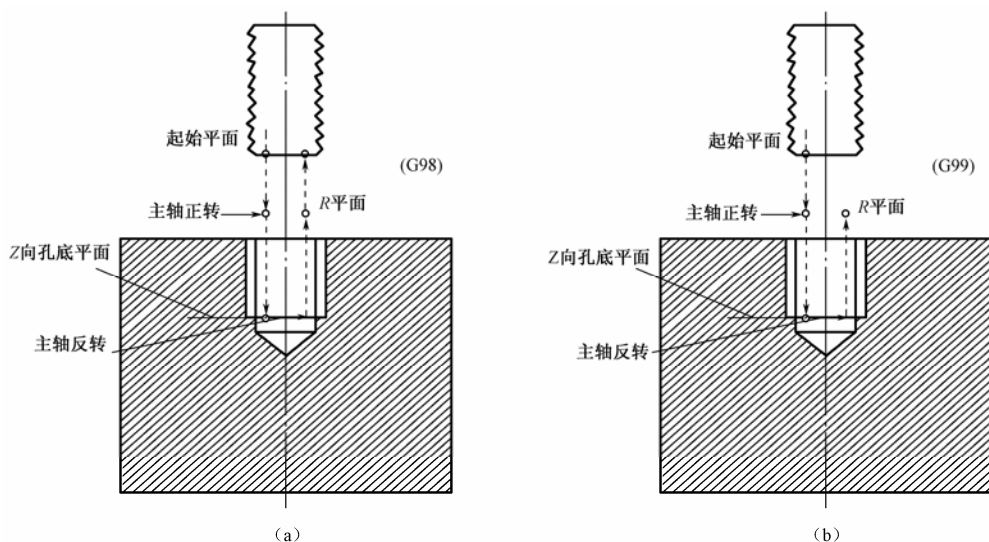


图 24-1 G84 指令动作循环

【例 24-1】 对图 24-2 中孔板的 4 个孔进行攻螺纹，螺纹深度为 10mm，试编制其数控加工程序。

```
O0084
G92 X0 Y0 Z50;
G90 G00 M03 S150;
G99 G84 X10Y10 Z-10 R5 F300;
G00 X50;
Y30;
X10;
G80G00Z50;
M09 M05;
M30;
```



(2) 左旋攻螺纹循环指令 G74

G74 与 G84 的区别是，进给时为反转，退出时为正转。其格式与 G84 相同。

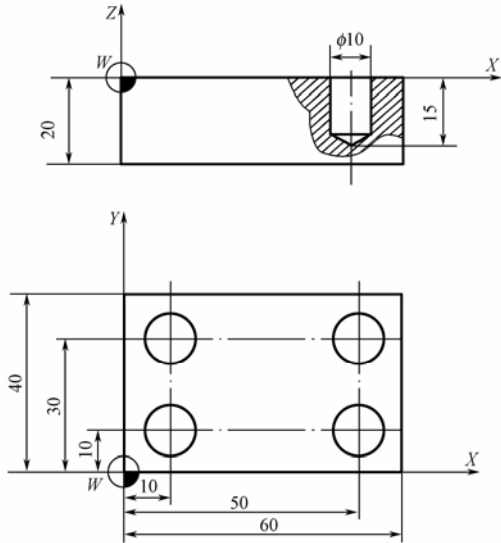


图 24-2 孔板零件

三、任务解析

由任务书知，该零件需加工 8 个螺纹孔。

加工工艺路线：装夹，找正→对刀→中心钻钻中心孔→麻花钻钻 8-M10 螺纹底孔→丝锥攻 8-M10 螺纹孔。

四、任务实施（零件加工工艺分析与编程）

1. 工装

采用机用虎钳装夹的方法，底部用垫块垫起。

2. 刀具选择

数控加工刀具卡片见表 24-2。

表 24-2 数控加工刀具卡片

产品名称或代号		×××	零件名称		阀盖		零件图号	×××
序号	刀具号	刀具规格名称	数量	加工表面		刀尖半径 R/ mm	刀尖方位 T	备注
1	T01	A2 中心钻	1	钻 8 个中心孔			T01	右偏刀
2	T02	φ8.5 麻花钻	1	钻 8 个 M10 螺纹底孔			T01	右偏刀
3	T03	M10 机用丝锥	1	攻 M10 螺纹孔				
编制		×××	审核	×××	批准	×××	共 页	第 页



3. 制作加工工艺卡

阀盖加工工步及切削用量列于加工工艺卡中，见表 24-3。

表 24-3 加工工艺卡

单位名称	×××		产品名称或代号		零件名称		零件图号	
			×××		阀盖		×××	
工序号	程序编号		夹具名称		使用设备		车间	
001	×××		机用虎钳		数控铣床/加工中心		×××	
工步号	工步内容		刀具号	刀具规格 (mm)	主轴转速 $n/(r/min)$	进给速度 $f/(mm/r)$	背吃刀量 $a_p/(mm)$	备注
1	装夹，找正，对刀							手动
2	钻 8 个 M10 中心孔		T01	A2	800	60		手动
3	钻 8 个 M10 底孔		T02	$\phi 8.5$	250	60		手动
4	攻螺纹		T03	M10	100	200		自动
编制	×××	审核	×××	批准	×××	年 月 日		共 页 第 页

4. 程序编制

阀盖数控加工程序清单见表 24-4。

表 24-4 阀盖数控加工程序清单

程序号：O0024		
程序段号	程序内容	程序说明
N10	G40 G80 G90 Z150;	取消刀具半径补偿和固定循环功能，采用绝对值编程，主轴上安装 T01 号刀具，A2 中心钻
N12	G54 G00 X22.5 Y0 S800 M03;	设置坐标原点，启动主轴
N14	G43 H01 Z100;	1 号刀具长度补偿，快速定位至 Z100 mm 处
N16	Z20;	快速进刀到 Z20 处
N18	G17;	选择 XY 平面
N20	G99 G81 X22.5 Y0 Z-2 R5 F60;	调用孔加工固定循环 G81，钻中心孔，R 平面位于工件上方 5 mm 处
N22	G16 Y45;	极坐标编程，在 X22.5 和 45° 处钻中心孔
N24	Y90;	极坐标编程，在 X22.5 和 90° 处钻中心孔
N26	Y135;	极坐标编程，在 X22.5 和 135° 处钻中心孔
N28	Y180;	极坐标编程，在 X22.5 和 180° 处钻中心孔
N30	Y225;	极坐标编程，在 X22.5 和 225° 处钻中心孔
N32	Y270;	极坐标编程，在 X22.5 和 270° 处钻中心孔
N34	Y315;	极坐标编程，在 X22.5 和 315° 处钻中心孔
N36	G15 G80 G00 Z200;	取消孔加工固定循环，极坐标取消，快速定位至 Z200 处
N38	M05;	主轴停
N40	M00;	程序暂停，手动换 T02 号刀， $\phi 8.5$ 麻花钻
N42	G54 G90 G00 X22.5 Y0 S250 M03;	主轴正转，转速为 250 r/min，快进至 X22.5 Y0 位置
N44	G43 H02 Z100;	2 号刀具长度补偿，快速定位至 Z100 处
N46	Z20 M08;	快速进刀到 Z20，切削液开
N48	G17;	选择 XY 平面
N50	G99 G83 X22.5 Y0 Z-10 R5 Q3 F60;	调用深孔固定循环，钻 $\phi 8.5$ 螺纹内孔，每次进给深度 3mm，R 平面位于工件上方 5mm 处



续表

程序号：O0024		
程序段号	程序内容	程序说明
N52	G16 Y45;	极坐标编程，在 X22.5 和 45° 处钻孔
N54	Y90;	极坐标编程，在 X22.5 和 90° 处钻孔
N56	Y135	极坐标编程，在 X22.5 和 135° 处钻孔
N58	Y180;	极坐标编程，在 X22.5 和 180° 处钻孔
N60	Y225;	极坐标编程，在 X22.5 和 225° 处钻孔
N62	Y270;	极坐标编程，在 X22.5 和 270° 处钻孔
N64	Y315;	极坐标编程，在 X22.5 和 315° 处钻孔
N66	G15 G80 Z200 M09;	取消深孔固定循环，冷却液停，极坐标取消，快速定位至 Z200 处
N68	M05;	主轴停
N70	M00;	程序暂停，手动换 T03 刀，M10×1.5 丝锥
N72	G54 G90 G00 X22.5 Y0 S100 M03;	快进至 X22.5 Y0 位置
N74	G43 H03 Z100;	3 号刀具长度补偿，快速定位至 Z100 处
N76	Z20;	快速进刀到 Z20
N78	G17;	选择 XY 平面
N82	G99 G84 X22.5 Y0 Z-8 R5 Q4 F200;	使用攻螺纹固定循环功能，断屑攻螺纹，每次切削进给深度为 4mm，R 平面位于工件上方 5 mm 处
N84	G16 Y45;	极坐标编程，在 X22.5 和 45° 处攻螺纹
N86	Y90;	极坐标编程，在 X22.5 和 90° 处攻螺纹
N88	Y135;	极坐标编程，在 X22.5 和 135° 处攻螺纹
N90	Y180;	极坐标编程，在 X22.5 和 180° 处攻螺纹
N92	Y225;	极坐标编程，在 X22.5 和 225° 处攻螺纹
N94	Y270;	极坐标编程，在 X22.5 和 270° 处攻螺纹
N96	Y315;	极坐标编程，在 X22.5 和 315° 处攻螺纹
N98	G15 G80 G00 Z200;	取消极坐标及固定循环功能，快速进给至 Z200 处
N100	M05;	主轴停
N102	M30;	程序结束并返回

五、任务学习手记（见表 24-5）

表 24-5 任务学习手记

学生姓名		第____组	组名	
同组人姓名				
任务学习与执行过程				
学习体会				
巩固练习				



续表

个人 自评	本人签名：_____
小组 评价	组长签名：_____
教师 评价	教师签名：_____

任务二十五 镗孔（面）数控加工程序的编制

一、项目任务书

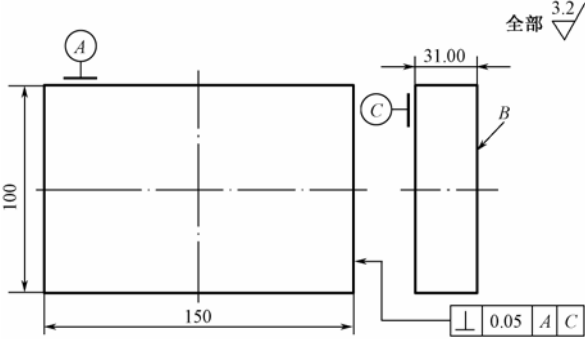
镗孔（面）数控加工程序的编制项目任务书，见表 25-1。

表 25-1 项目任务书

项目名称	孔（面）数控加工程序的编制		
学习目标	1. 掌握镗孔加工的方法，学会合理选用镗削加工刀具及切削用量 2. 正确选择各类镗孔加工的固定循环指令		
零件名称	冲模	材料	45 钢



续表

	
零件毛坯图	
任务内容：制定冲模的加工工艺并编制其数控加工程序	
学习指令：G73, G76, G82	
备 注	

二、学习导读

(1) 高速深孔往复排屑钻孔循环指令 G73。

格式：

G73 X_ Y_ Z_ R_ Q_ F_K_;



说明

- ① G73 指令用于高速深孔钻，它执行间歇切削进给直到孔的底部，同时从孔中排除切屑。
- ② X、Y 为孔的位置，Z 为孔的深度，F 为进给速度（mm/min），R 为参考平面的高度，Q 为每次切削进给的背吃刀量，K 为重复次数。G 可以是 G98 和 G99，G98 和 G99 两个模态指令控制孔加工循环结束后刀具是返回初始平面还是参考平面：G98 返回初始平面，为默认方式；G99 返回参考平面，如图 25-1 所示。

例如：

M3 S2000;	//主轴开始旋转
G90 G99 G73 X300 Y-250 Z-150 R-100 Q15 F120;	//定位，钻 1 孔，然后返回到 R 点
Y-550;	//定位，钻 2 孔，然后返回到 R 点
Y-750;	//定位，钻 3 孔，然后返回到 R 点
X1000;	//定位，钻 4 孔，然后返回到 R 点
Y-550;	//定位，钻 5 孔，然后返回到 R 点
G98 Y-750;	//定位，钻 6 孔，然后返回初始平面
G80 G28 G91 X0 Y0 Z30 ;	//返回到参考点
M05;	//主轴停止旋转

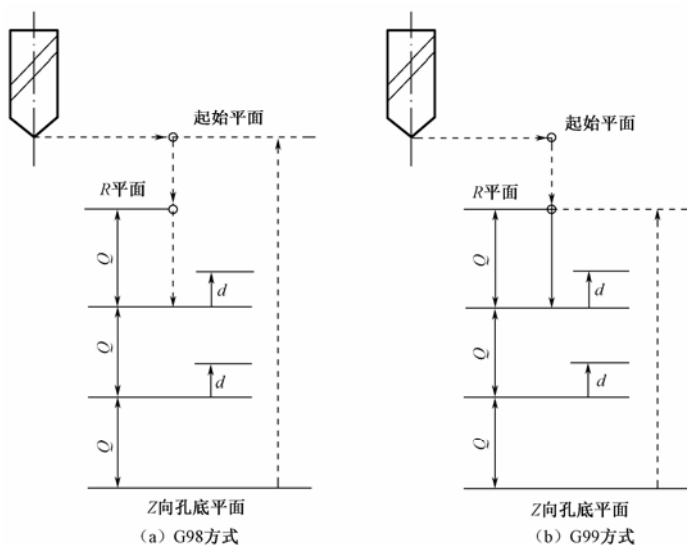


图 25-1 高速深孔往复排屑钻循环指令 G73

(2) 精镗孔循环指令 G76。

格式：

G76 X— Y— Z— R— Q— P— F— K—；



说明

G76 指令用于镗削精密孔，当到达孔底时主轴停止切削，刀具离开工件的被加工表面，并返回；Q 为在孔底的偏移量，是在固定循环内保存的模态值，必须小心指定，因为它也用作 G73 和 G83 的背吃刀量。参数意义同前，如图 25-2 所示。

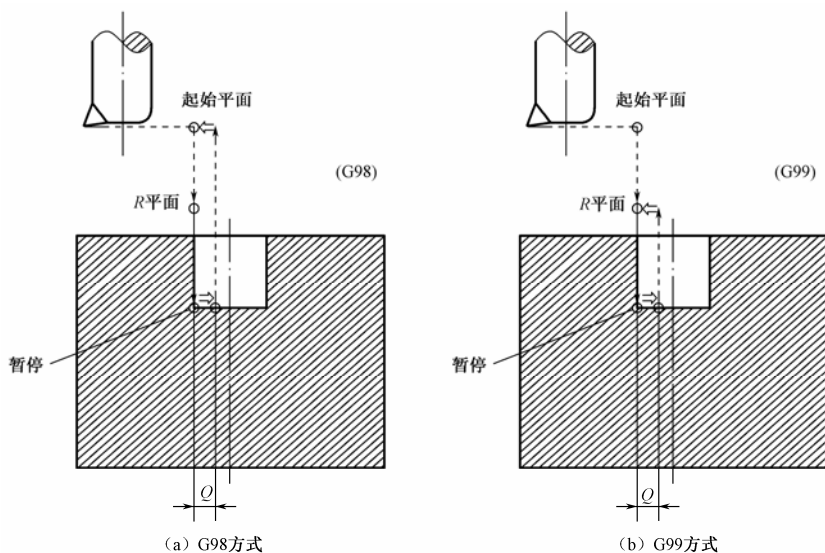


图 25-2 精镗孔循环指令 G76



(3) 钻削或粗镗削循环指令 G82。

格式：

G82 X_ Y_ Z_ R_ P_ F_ K_ ; (P 的单位为 ms)



说明

G82 指令用于正常钻孔切削，进给执行到孔底，暂停，然后刀具从孔底快速移动退回，如图 25-3 所示。该指令除了要在孔底暂停外，其他动作与 G81 指令相同。该指令一般用于扩孔和沉头孔的加工，参数意义同前。

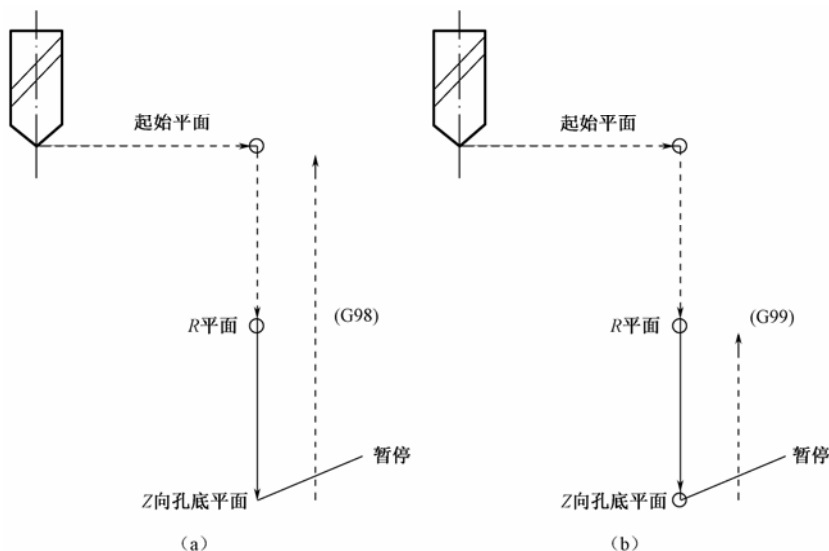


图 25-3 G82 钻削或粗镗削循环示意图

三、任务解析

由任务书中的零件图可知，该零件需加工 50mm 宽的通槽、 $\phi 37$ 的盲孔和 $\phi 27$ 的通孔。

加工工艺路线：装夹，找正→对刀→粗、精铣上表面，保证总厚度 30mm→粗、精铣宽 50mm 的通槽，底面留精铣余量 0.1 mm，侧面留精铣余量 0.2 mm→精铣底面和侧面到尺寸要求→中心钻钻 $\phi 27$ 及 $\phi 37$ 的中心孔→钻 $\phi 27$ 的通孔至 $\phi 26$ →钻 $\phi 37$ 的盲孔至 $\phi 30$ ，深度 14.9mm→半精镗 $\phi 27$ 孔，留精镗单边余量 0.15mm→精镗 $\phi 27$ 孔至要求尺寸→键槽铣刀铣 $\phi 37$ 盲孔的预制孔孔底，深度至要求尺寸→粗镗 $\phi 37$ 盲孔，留单边余量 0.35mm→半精镗 $\phi 37$ 盲孔，留精镗余量 0.15mm→精镗 $\phi 37$ 盲孔至要求尺寸。

四、任务实施（零件加工工艺分析与编程）

1. 工装

本例采用机用虎钳装夹的方法，底部用垫块垫起。



2. 刀具选择

数控加工刀具卡片见表 25-2。

表 25-2 数控加工刀具卡片

产品名称或代号		×××		零件名称		冲模		零件图号	×××
序号	刀具号	刀具规格名称		数量	加工表面		刀尖半径 R/ mm	刀尖方位 <i>T</i>	备注
1	T01	φ80 盘铣刀		1	精铣 <i>B</i> 平面至要求尺寸				
2	T02	φ22 立铣刀		1	粗铣 50mm 通槽，底面、侧面留余量 0.5mm				
					精铣通槽至要求尺寸				
3	T03	A2 中心钻		1	钻 φ27 通孔及 φ37 盲孔的中心孔				
4	T04	φ26 麻花钻		1	钻 φ27 通孔				
5	T05	φ30 麻花钻		1	钻 φ37 盲孔至 φ30				
6	T06	φ26.7 精镗刀		1	半精镗 φ27 通孔至 φ26.7				
7	T07	φ27 精镗刀		1	精镗 φ27 通孔至要求尺寸				
8	T08	φ16 键槽铣刀		1	铣削 φ37 盲孔底面至要求尺寸				
9	T09	φ33 盲孔粗镗刀		1	粗镗 φ37 孔至 φ33				
10	T10	φ35 盲孔粗镗刀		1	粗镗 φ37 孔至 φ35				
11	T11	φ36.7 盲孔精镗刀		1	半精镗 φ37 孔至 φ36.7				
12	T12	φ37 盲孔精镗刀		1	精镗 φ37 孔至要求尺寸				
编制		×××	审核	×××	批准	×××		共 页	第 页

3. 制作加工工艺卡

冲模加工工步及切削用量列于加工工艺卡中，见表 25-3。

表 25-3 加工工艺卡

单位名称	×××	产品名称或代号		零件名称		零件图号		
		×××		冲模		×××		
工序号	程序编号	夹具名称		使用设备		车间		
001	×××	机用虎钳		数控铣床/加工中心		×××		
工步号	工步内容		刀具号	刀具规格 (mm)	主轴转速 $n/(r/min)$	进给速度 $f/(mm/min)$	背吃刀量 $a_p/(mm)$	备注
1	装夹，找正，对刀							手动
2	精铣 B 平面至要求尺寸		T01	$\phi 80$ 盘铣刀	350	80	1	自动
3	粗铣 50 mm 通槽，底面、侧面 留余量 0.5 mm		T02		380	80	—	自动
4	精铣通槽至要求尺寸		T02	$\phi 22$ 立铣刀	450	60	0.2	自动
5	钻 $\phi 27$ 通孔及 $\phi 37$ 盲孔的中心孔		T03	ϕA_2 中心钻	800	60	—	自动
6	钻 $\phi 27$ 通孔		T04	$\phi 26$ 麻花钻	260	40	13	自动
7	钻 $\phi 37$ 盲孔至 $\phi 30$		T05	$\phi 30$ 麻花钻		35	15	自动
8	半精镗 $\phi 27$ 通孔至 $\phi 26.7$		T06	$\phi 26.7$ 精镗刀	450	45	0.35	自动
9	精镗 $\phi 27$ 通孔至要求尺寸		T07	$\phi 27$ 精镗刀	500	60	0.15	自动
10	铣削 $\phi 37$ 盲孔底面至要求尺寸		T08	$\phi 16$ 键槽铣刀	350	45	—	自动



续表

单位名称	×××		产品名称或代号		零件名称		零件图号	
			×××		冲模		×××	
工序号	程序编号		夹具名称		使用设备		车间	
001	×××		机用虎钳		数控铣床/加工中心		×××	
工步号	工步内容		刀具号	刀具规格 (mm)	主轴转速 n/(r/min)	进给速度 f/(mm/min)	背吃刀量 a _p /(mm)	备注
11	粗镗φ37 孔至φ33		T09	φ33 盲孔粗镗刀	350	60	1.5	
12	粗镗φ37 孔至φ35		T10	φ35 盲孔粗镗刀	400	60		
13	半精镗φ37 孔至φ36.7		T11	φ36.7 盲孔精镗刀	450	45	0.35	
14	精镗φ37 孔至要求尺寸		T12	φ37 盲孔精镗刀	450	30	0.15	
编制	×××	审核	×××	批准	×××	年 月 日	共 页	第 页

4. 程序编制

冲模数控加工程序清单见表 25-4。

表 25-4 冲模数控加工程序清单

注：选择毛坯右上角点为坐标系原点，上表面为工件坐标系的 Z=0 面，选择距离工件表面 5mm 处为安全距离 R 点平面，机床坐标系设在 G54 上		
程序号：O4007		
N10	G40 G80 G90;	取消刀具半径补偿，取消孔固定循环及绝对值尺寸，主轴安装 T01 号刀具，精铣 B 平面至要求尺寸
N12	G54 G00 X0 Y0 Z150;	快进至 X0 Y0 位置
N14	G00 X45 Y-30;	快速定位至 X45 Y-30 位置
N16	S350 M03;	主轴正转，转速为 350 r/min
N18	G43 H01 Z100;	1 号刀具长度补偿，快速定位至 Z100 处
N20	Z10;	快进至 Z10 位置
N22	G01 Z0 F200;	直线进给至 Z0 位置
N24	X-150 F80;	直线进给至 X-150 位置
N26	Y-70;	直线进给至 Y-70 位置
N28	X0;	直线进给至 X0 位置
N30	G00 Z100;	快速退刀至工件上方 100mm 处
N32	M05;	主轴停止
N34	M00;	程序停止后，转成手动方式，手动换 T02 刀具，粗铣 50mm 通槽，底面余量 0.1mm（由 Z 值控制）、侧面余量 0.2mm（由刀具半径补偿值控制）
N36	S380 M03;	主轴正转，转速为 380r/min
N38	G00 X-75 Y40;	快速定位至 X-75 Y40 位置
N40	G43 G00 Z5 H02;	2 号刀具长度补偿，快速定位至工件上方 5 mm 处
N42	G01 Z-2.9 F80;	直线插补至 Z -2.9 处
N44	Y-140;	直线插补至 Y -140 处
N46	G01 G41 D02 X-50;	2 号刀具半径补偿，直线插补至 X-50 处
N48	Y40;	直线插补至 Y40 处
N50	X-100;	直线插补至 X -100 处
N52	Y-140;	直线插补至 Y -140 处
N54	G01 G40 X-75;	取消刀具半径补偿，直线插补至 X -75 处
N56	G00 Z100;	快速提刀至 Z100 处



N58	M05;	主轴停止
N60	M00;	程序停止, 测量并根据实际尺寸修改刀具补偿 D02, 利用 T02 号刀具, 精铣通槽
N62	S450 M03;	主轴正转, 转速为 450r/min
N64	G43 G00 Z5 H02;	2 号刀具长度补偿, 快速定位至工件上方 5 mm 处
N66	X-75 Y40;	快速定位至 X-75 Y40 处
N68	G01 Z-3 F60;	直线进给至工件下方 3 mm 处
N70	Y-140;	直线插补至 Y-140 处
N72	G01 G41 D02 X-50;	2 号刀具半径补偿, 直线进给至 X-50 处
N74	Y40;	直线插补至 Y40 处
N76	X-100;	直线插补至 X-100 处
N78	Y-140;	直线插补至 Y-140 处
N80	G01 G40 X-75;	取消刀具半径补偿, 直线进给至 X-75 处
N82	G00 Z5;	快速定位至 Z5 处
N84	M05;	主轴停
N86	M00;	程序停止后, 转成手动方式, 手动换 T03 刀具
N88	S800 M03;	利用 T03 号刀具, 用中心钻钻 $\phi 27$ 及 $\phi 37$ 的中心孔
N90	G90 G00 X-75 Y-30;	快速定位至 X-75 Y-30 位置处
N92	G43 G00 Z30 H03;	3 号刀具长度补偿值
N94	G99 G81 Z-5 R5 F60;	调用孔加工固定循环, 钻中心孔, R 平面位于工件上方 5mm 处
N96	Y-75;	钻另一个孔位的中心孔
N98	G80 G00 Z200;	取消孔加工固定循环, 快速退刀至 Z200 处
N100	M05;	主轴停止
N102	M00;	程序停止后, 转成手动方式, 手动换 T04 刀具
N104	S260 M03;	利用 T04 号刀具, 钻 $\phi 27$ 底孔至 $\phi 26$
N106	G90 G00 X-75 Y-75;	快速定位至 X-75 Y-75 位置处
N108	G43 G00 Z30 H04;	4 号刀具长度补偿, 快速定位至工件上方 30mm 处
N110	G99 G73 Z-35 R5 Q3 F40;	调用孔加工固定循环 G73, 钻孔, 每次工进 3mm, R 平面位于工件上方 5mm 处
N112	G80 G00 Z200;	取消孔固定循环, 快速退刀至 Z200 处
N114	M05;	主轴停
N116	M00;	程序停止后, 转成手动方式, 手动换 T05 刀具
N118	S250 M03;	利用 T05 号刀具, 钻 $\phi 37$ 底孔至 $\phi 30$
N120	G90 G00 X-75 Y-30;	快速定位至 X -75 Y - 30
N122	G43 G00 Z30 H05;	5 号刀具长度补偿, 快速定位至工件上方 30 mm 处
N124	G99 G73 Z-17.9 R5 Q3 F35;	调用孔加工固定循环, 钻孔, 孔径保证为 30 mm, 每次工进 3mm, R 平面位于工件上方 5mm 处
N126	G80 G00 Z200;	取消孔固定循环, 快速定位至工件上方 200mm 处
N128	M05;	主轴停
N130	M00;	程序停止后, 转成手动方式, 手动换 T06 刀具
N132	S450 M03;	利用 T06 号刀具, 半精镗 $\phi 27$ 孔至 $\phi 26.7$
N134	G90 G00 X-75 Y-75;	快速定位至 X -75 Y -75 处
N136	G43 G00 Z30 H06;	6 号刀具长度补偿, 快速定位至工件上方 30 mm 处
N138	G99 G85 Z-35 R5 F45;	调用镗孔加工固定循环, 孔深至 Z-35 处 (通孔), R 平面位于工件上方 5mm 处
N 140	G80 G00 Z200;	取消孔加工固定循环, 快速退刀至工件上方 200 mm 处
N142	M05;	主轴停止



续表

N144	M00;	程序停止后, 转成手动方式, 手动换 T07 刀具
N146	S500 M03;	利用 T07 号刀具, 精镗 $\phi 27$ 孔至要求尺寸
N148	G90 G00 X-75 Y-75;	快速定位至 X-75, Y-75 处
N150	G43 G00 Z30 H07;	7 号刀具长度补偿, 快速定位至工件上方 30 mm 处
N152	G99 G76 Z-32 R5 Q0.2 F60;	精镗孔 $\phi 27$ 至要求尺寸, 精镗循环至 Z-32 (通孔), 孔底镗刀偏移量 0.2mm
N154	G80 G00 Z200;	取消孔加工循环, 快速定位至 Z200 处
N156	M05;	主轴停
N158	M00;	程序停止后, 转成手动方式, 手动换 T08 刀具
N160	S350 M03;	利用 T08 号刀具, 铣 $\phi 37$ 孔的预制孔 $\phi 30$ 孔深至要求尺寸
N162	G90 G00 X-75 Y-30;	快速定位至 X-75 Y-30 位置
N164	G43 G00 Z5 H08;	8 号刀具长度补偿值, 快速定位至工件上方 5 mm 处
N166	G01 Z-10 F200;	直线插补至 Z-10 处
N168	G01 Z-18 F45;	直线插补至 Z-18 处
N170	G91 G01 X7;	增量直线插补+X 向 7mm
N172	G02 I-7 F45;	顺时针逆铣方式铣削内孔
N174	G01 X-7 F45;	直线插补-X 向 7 mm
N176	G90 G00 Z200;	绝对尺寸, 快速退刀至工件上方 200mm 处
N178	M05;	主轴停
N180	M00;	程序停止后, 转成手动方式, 手动换 T09 刀具
N182	S350 M03;	利用 T09 号刀具, 粗镗 $\phi 37$ 孔至 $\phi 33$
N184	G90 G00 X-75 Y-30;	快速定位孔 $\phi 37$ 位置 X-75 Y-30
N186	G43 G00 Z30 H09;	9 号刀具长度补偿, 快速定位至工件上方 30 mm 处
N188	G99 G82 Z-18 R5 P5000 F60;	在此孔位粗镗该孔, R 平面位于工件上方 5 mm 处, 孔底停 5s
N190	G80 G00 Z200;	取消孔加工循环, 快速定位至 Z200 处
N192	M05;	主轴停
N194	M00;	程序停止后, 转成手动方式, 手动换 T10 刀具
N196	S400 M03;	利用 T10 号刀具, 粗镗 $\phi 37$ 孔至 $\phi 35$
N198	G90 G00 X-75 Y-30;	快速定位至 X-75 Y-30 处
N200	G43 G00 Z30 H10;	10 号刀具长度补偿, 快速定位至工件上方 30 mm 处
N202	G99 G82 Z-18 R5 P5000 F60;	在此孔位镗孔至 $\phi 35$, 孔底停 5s
N204	G80 G00 Z200;	取消孔加工循环, 快速定位至 Z200 处
N206	M05;	主轴停
N208	M00;	程序停止后, 转成手动方式, 手动换 T11 刀具
N210	S450 M03;	利用 T11 号刀具, 半精镗 $\phi 37$ 孔至 $\phi 36.7$
N212	G90 G00 X-75 Y-30;	快速定位至 X-75, Y-30 处
N214	G43 G00 Z30 H11;	11 号刀具长度补偿, 快速定位至工件上方 30mm 处
N216	G99 G82 Z-18 R5 P5 F45;	半精镗孔, R 平面位于工件上方 5mm 处, 孔底停 5s
N218	G80 G00 Z200;	取消镗孔加工循环, 抬刀至 Z200 处
N220	M05;	主轴停
N222	M00;	程序停止后, 转成手动方式, 手动换 T12 刀具
N224	S450 M03;	利用 T12 号刀具, 精镗 $\phi 37$ 孔至要求尺寸
N226	G90 G00 X-75 Y-30;	快进至 X-75, Y-30 处
N228	G43 G00 Z30 H12;	12 号刀具长度补偿, 快速定位至工件上方 30 mm 处
N230	G99 G76 Z-18 R5 Q0.2 P5000 F30;	精镗孔, 孔底镗刀偏移量 0.2mm, R 平面位于工件上方 5mm 处, 孔深 18mm
N232	G80 G00 Z200;	取消镗孔加工循环, 抬刀至 Z200 处
N234	M05;	主轴停
N236	M30;	程序结束并返回



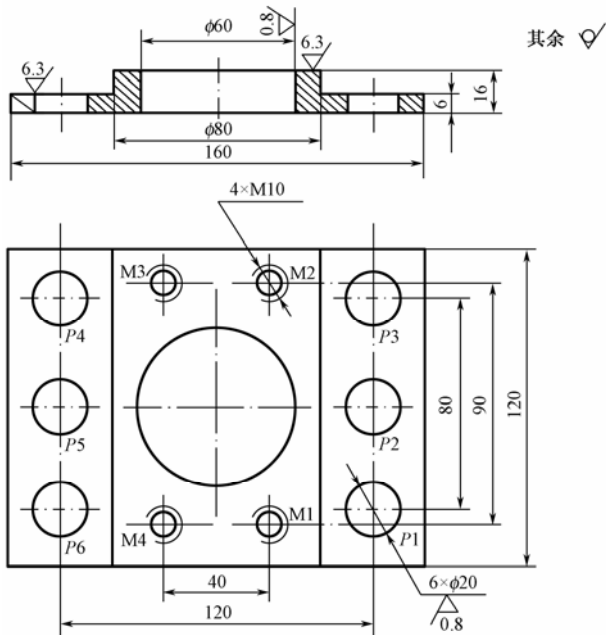
五、任务学习手记（见表 25-5）

表 25-5 任务学习手记

学生姓名		第____组	组名	
同组人姓名				
任务学习与执行过程				
学习体会				
巩固练习				
个人自评	本人签名：_____			
小组评价	组长签名：_____			
教师评价	教师签名：_____			



拓展训练任务



零件名称	盖板	材料	45 钢	
任务内容：制定盖板的加工工艺并编制其数控加工程序。				
刀具名称	T 功能代码	规格	主轴转速 $n/(r/min)$	进给量 $f/(mm/min)$
端铣刀	T01	$\phi 100$	350	50
圆铣刀	T02	$\phi 25$	100	40
中心钻	T03	$\phi 6$	100	30
钻头	T04	$\phi 8$	100	30
丝锥	T05	M10	100	150
钻头	T06	$\phi 18$	200	30
铰刀	T07	$\phi 20$	100	40

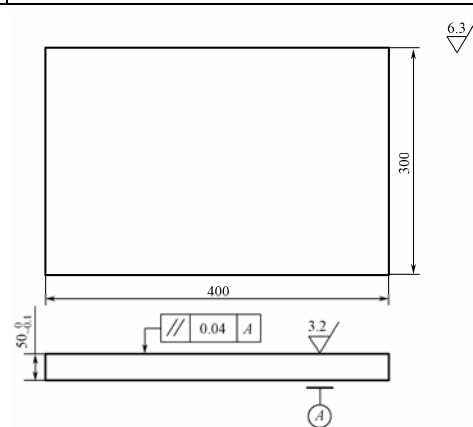
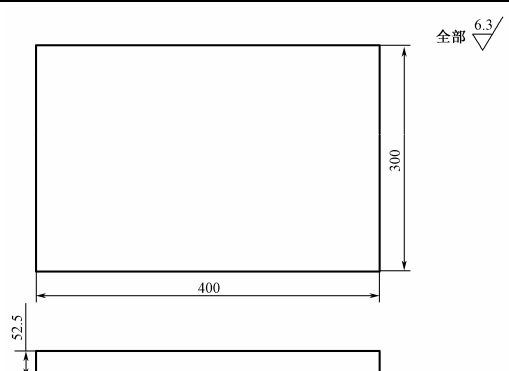
情境五 轮廓（面）数控加工程序的编制

任务二十六 大平面数控加工程序的编制

一、项目任务书

大平面数控加工程序的编制项目任务书，见表 26-1。

表 26-1 项目任务书

情境名称	轮廓（面）数控加工程序的编制		
学习目标	1. 掌握大平面轮廓的加工工艺 2. 学会正确选用大平面的加工刀具及合理的切削用量 3. 掌握粗、精行切大平面的走刀路线，正确确定刀具补偿参数		
<div></div>			
零件名称	模板	材料	45 钢
<div></div>			
零件毛坯图			



续表

任务内容：制定模板的加工工艺并编制其数控加工程序	
学习指令：G90，G91，G01	
备 注	

二、学习导读

在大平面加工过程中，如果是一个敞开边界的大平面铣削，则没必要加入刀具的半径补偿功能，可以直接用刀具的中心按图纸尺寸编写程序。但是一定要注意图样上标注尺寸与编程时刀具轨迹之间还有一个刀具半径差，否则会发生碰撞。

行切过程中，粗加工时为提高工作效率，采取双向工作进给；精加工时为提高零件的表面质量，采取单向工作进给。

在刀具和夹具方面，刀片装夹后要进行对比检验，对比和调换前的刀片尺寸可直接在机床上测量，也可以到对刀仪上测量。

另外，压板和垫块的力作用点要合适，避免工件在加工过程中弯曲。

三、任务解析

由任务书可知，模板零件需要对 400mm×300mm 的大平面进行铣削，加工路线要采取“基面先行，先粗后精”的原则，即先加工基面 A，先粗铣后精铣，从右下角开始，头尾双向加工。然后，再精加工上表面，精铣路线采取单向进刀加工。如图 26-1 所示，图 26-1（a）为粗加工路线图，图 26-1（b）为精加工路线图。

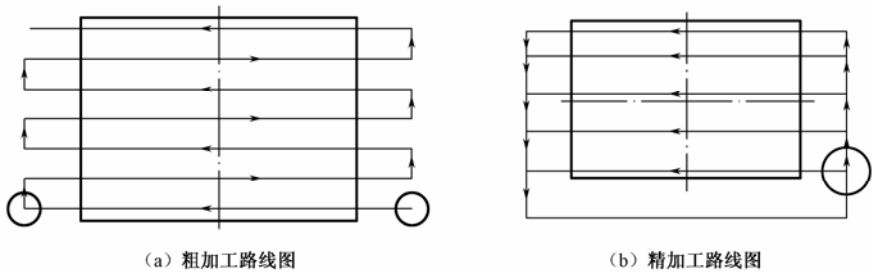


图 26-1 大平面加工路线图

四、任务实施（零件加工工艺分析与编程）

1. 工装

以四个侧面定位，固定在工作台上的两组定位块垂直放置后定位模板零件。

2. 刀具选择

见表 26-2 所示数控加工刀具卡片。



表 26-2 数控加工刀具卡片

产品名称或代号		×××		零件名称	模板		零件图号	×××
序号	刀具号	刀具规格名称		数量	加工表面	刀尖半径 R/ mm	刀尖方位 T	备注
1	T01	φ63 可转位硬质合金端铣刀 (8 片八角形刀片)		1	粗铣平面			
2	T02	φ125 可转位硬质合金端铣 刀 (8 片四角形刀片)		1	精铣平面			
编制		×××	审核	×××	批准	×××	共 页	第 页

3. 制作加工工艺卡

模板加工工步及切削用量列于加工工艺卡中，见表 26-3。

表 26-3 加工工艺卡

单位 名称	×××		产品名称或代号		零件名称		零件图号	
			×××		模板		×××	
工序号	程序编号		夹具名称		使用设备		车间	
001	×××		机用虎钳		数控铣床/加工中心		×××	
工 步 号	工步内容		刀具号	刀具规格 (mm)	主轴转速 n/(r/min)	进给速度 f/(mm/r)	背吃刀量 a _p /(mm)	备注
1	装夹，对刀							
2	粗铣平面		T01	φ63 可转位端铣刀	100	60	2	
3	精铣平面		T02	φ125 可转位端铣刀	150	80	0.5	
编制		×××	审核	×××	批准	×××	年 月 日	共 页 第 页

4. 程序编制

模板粗铣计算行切时第一个下刀点坐标是(250， -118.5)，下刀后运行到对面的（-250， -118.5），依工件宽度及刀具直径值进行 Y 向进刀，X 向双向铣削；精铣计算行切时第一个下刀点坐标是（270， -105），下刀后运行到对面的（-270， -105），依宽度及刀具直径值进行 Y 向进刀，X 向单向铣削。模板数控加工程序清单见表 26-4。

表 26-4 模板数控加工程序清单

注：选择零件中心为坐标系原点，选择毛坯上平面为工件坐标系的 Z=0 面，选择距离工件表面 20mm 处为安全平面，机床坐标系设在 G54 上。		
程序号：O5001		
N10	G40 G49 G80;	注销刀具半径补偿、长度补偿和固定循环功能，主轴安装 φ63 端铣刀，准备粗铣上平面
N12	S100 M03;	主轴以 100r/min 速度正转



续表

	G90 G54 G00 Z20;	G54 内包含机床零点和工件零点的距离，到工件上表面 20mm
N16	G00 X250 Y-118.5;	快速到右下角位
N20	G90 G43 G01 Z-2 H01 F60;	直线插补下刀 2mm，设定 T01 刀具长度补偿值
N22	G91 X-500;	相对值编程-X 向铣削，第一行切削
N24	Y63;	+Y 向进刀
N26	X500;	+X 向铣削，第二行切削
N28	Y63;	+Y 向进刀
N30	X-500;	-X 向铣削，第三行切削
N32	Y63;	+Y 向进刀
N34	X500;	+X 向铣削，第四行切削
N36	Y63;	+Y 向进刀
N38	X-500;	-X 向铣削，第五行切削
N40	G00 Z100;	粗铣上平面结束，抬刀至 Z100 处
N42	G49 G00 Z100;	取消刀具长度补偿
N44	M05;	主轴停
N46	M00;	程序暂停，手动换 $\phi 125$ 的端铣刀
N48	S150 M03;	主轴正转
N50	G90 G54 G00 X270 Y-105 Z20;	快速到右下角位
N52	G43 G01 Z-2.5 H02 F80;	直线插补下刀 0.5mm，设定 T02 刀具长度补偿值
N54	G91 X-540;	-X 向第一行铣削，相对值编程
N56	Y-110;	-Y 向退刀
N58	X540;	+X 向退刀
N60	Y215;	+Y 向进刀
N62	X-540;	-X 向第二行铣削
N64	Y-215;	-Y 向退刀
N66	X540;	+X 向退刀
N68	Y320;	+Y 向进刀
N70	X-540;	-X 向第三行铣削
N72	G90 G00 Z50;	精铣上平面结束，提刀到 Z50
N76	G49 G00 Z100;	取消刀具长度补偿
N80	M05;	主轴停
N82	M30;	程序停止并返回



五、任务学习手记（见表 26-5）

表 26-5 任务学习手记

学生姓名		第_____组	组名	
同组人姓名				
任务学习与执行过程				
学习体会				
巩固练习				
个人自评	本人签名：_____			
小组评价	组长签名：_____			
教师评价	教师签名：_____			



任务二十七 台阶面数控加工程序的编制

一、项目任务书

台阶面数控加工程序的编制项目任务书，见表 27-1。

表 27-1 项目任务书

情境名称	轮廓（面）数控加工程序的编制		
学习目标	1. 掌握台阶面的加工工艺，正确利用层削方法 2. 学会正确选用加工台阶面的刀具，能合理选择切削用量		
<div><div><div><div><div><div></div><div>0.04</div><div>A</div><div>B</div></div></div><div><div>30</div><div>10</div><div>10</div></div><div><div>50</div></div></div><div><div><div>Z</div><div>X</div></div><div><div>Y</div></div></div><div><div>11.5</div><div>21.5</div><div>30</div></div><div><div>1.6</div><div>1.6</div><div>1.6</div></div><div><div>6.3</div><div>其余</div></div><div><div>第二台阶</div><div>第一台阶</div></div></div></div>			
零件名称	台阶体	材料	45 钢
<div><div><div><div><div></div><div>0.04</div><div>A</div><div>B</div></div></div><div><div>31</div><div>50</div></div></div><div><div><div>B</div><div>30</div></div></div><div><div>6.3</div><div></div></div></div>			
零件毛坯图			
任务内容：制定台阶体的加工工艺并编制其数控加工程序			
学习指令：G42，M98，M99，G43，G49			
备注			



二、学习导读

本任务中采用两把刀具加工台阶，测量每把刀的刀位点在从参考点到工件下表面（基准面）的 Z 数据，输入到对应的刀具长度补偿单元 $H01$ 、 $H02$ 、 \cdots 中，则零件的下表面被设定为 $Z=0$ 面， $G54$ 中的 Z 值为零。

三、任务解析

加工工艺路线：装夹，找正，对刀→加工台阶体上表面，保证零件的总厚度→层进法粗铣第一个台阶面（每层铣削 2mm ），留 0.5mm 的余量→层进法粗铣第二个台阶面（每层铣削 2mm ），留 0.5mm 的余量→精加工第一个台阶面，保证第一台阶面的高度尺寸→精加工第二个台阶面，保证第二个台阶面的高度尺寸。

四、任务实施（零件加工工艺分析与编程）

1. 工装

采用机用虎钳装夹的方法，底部用垫块垫起。

2. 刀具选择

任务中零件加工所选用的刀具见表 27-2。

表 27-2 数控加工刀具卡片

产品名称或代号		×××		零件名称	台阶体		零件图号	×××
序号	刀具号	刀具规格名称		数量	加工表面	刀尖半径 R/mm	刀尖方位 T	备注
1	T01	$\phi 32$ 机夹立铣刀		1	端铣加工工件上表面			
2	T01	$\phi 24$ 高速钢刀具立铣刀		1	粗铣第一、二个台阶面			
3	T03	$\phi 28$ 高速钢刀具立铣刀		1	精铣第一、二个台阶面			
编制		×××	审核	×××	批准	×××		共 页 第 页

3. 制作加工工艺卡

台阶体零件的加工工步及切削用量列于加工工艺卡中，见表 27-3。

表 27-3 加工工艺卡

单位名称	×××		产品名称或代号		零件名称		零件图号	
			×××		台阶体		×××	
工序号	程序编号		夹具名称		使用设备		车间	
001	×××		机用虎钳		数控铣床/加工中心		×××	
工步号	工步内容		刀具号	刀具规格 (mm)	主轴转速 $n/(\text{r}/\text{min})$	进给速度 $f/(\text{mm}/\text{r})$	背吃刀量 $a_p/(\text{mm})$	备注
1	装夹，找正，对刀							手动
2	端铣加工工件上表面		T01		600	80	1	自动
3	粗铣第二、第三个台阶面		T02		300	60	3	自动
4	精铣第二、第三个台阶面		T03		200	90	1	自动
编制	×××	审核	×××	批准	×××	年 月 日		共 页 第 页



4. 程序编制

台阶的数控加工程序清单见表 27-4。

表 27-4 台阶数控加工程序清单

注：工件零点取台阶体底平面中心，台阶体零件底平面为 Z=0，机床坐标系为 G54		
程序号：O5002		
N10	G40 G80；	注销刀具半径补偿和固定循环功能，开机前刀具置于安全高度
N12	G00 G90 G54 X-45 Y0 M03 S600；	主轴以 600r/min 的速度正转，快速移动到工件坐标系下绝对坐标为（X-45,Y0）的点位置
N14	G43 H01 Z100；	调用 1 号刀具长度补偿
N16	Z35 M8；	Z 轴移动到 35mm 处，冷却液开
N18	G01 Z30 F80；	Z 轴直线插补至 30mm 处
N22	X45；	铣工件上平面，保证台阶体高度为 30mm
N24	G00 Z100；	抬刀至 Z100 处
N26	M05；	主轴停止
N28	M09；	冷却液关
N30	M00；	程序停止，手动换 T02 号刀具，准备粗铣第一、第二个台阶
N32	G54 G90 G00 X-40 Y-40；	快速定位刀具至 X-40，Y-40
N34	M03 S300；	主轴正转，转速 300r/min
N36	G43 G00 Z50 H02；	设置 T02 号刀具长度补偿值
N38	G01 Z32 F60；	工进至 Z32 处
N40	G42 G01 Y-6.5 D02；	定位至第一个台阶位置，设置刀具半径（右）补偿值
N42	M98 P5003 L9；	粗铣第一个台阶，分 9 层铣削，每层铣削深度 2mm，调用子程序 2701 共 9 次
N44	G90 G01 Z10.5 F60；	粗铣第一个台阶至高度为 10.5 mm，留精铣余量 0.5mm
N46	X40；	从左至右工进速度铣削第一台阶面
N48	G00 Z50；	快速抬刀
N50	X-40；	快速返回工件左侧
N52	G01 Y3.5 F120；	工进至 X-40，Y3.5 处
N54	Z32；	工进至 Z32 处
N56	M98 P5003 L4；	粗铣第二个台阶，分 4 层铣削，每层铣削深度 2mm，调用子程序 2701 共 4 次
N58	G90 G01 Z20.5 F60；	粗铣第二个台阶至高度为 20.5 mm，留精铣余量 0.5mm
N60	X40；	从左至右工进速度铣削第二台阶面
N62	G00 Z100；	快速抬刀
N64	M05；	主轴停止
N66	M00；	程序停止，手动换 T03 号刀具，准备精铣第一、第二个台阶
N68	G40 G80 G49；	注销刀具半径补偿、固定循环功能、长度补偿功能
N70	G90 G54 G00 X-40 Y-40；	快速定位至 X-40，Y-40 处
N72	G43 H03 Z100；	调用 3 号刀具长度补偿值，定位于 Z100mm 处
N74	M03 S200；	主轴正转
N76	Z35 M08；	快速定位至 Z35 处，切削液开
N78	G01 Z10 F90；	工进至 Z10 处
N80	G42 Y-6.5 D02 F90；	定位于第一个台阶，设置刀具半径（右）补偿
N82	X40；	从左至右精铣第一个台阶
N84	Z20；	抬刀、刀具定位于工件高度 20mm 处
N86	Y3.5；	定位至第二个台阶
N88	X-40；	从右至左精铣第二个台阶
N90	G90 G00 Z100；	快速抬刀
N92	M09；	冷却液关
N94	G40 G00 X0 Y0；	取消刀具半径补偿，刀具回到 X0，Y0 处



续表

N96	M05;	主轴停止
N98	M30;	程序停止并返回
O2701		粗铣台阶体中第一台阶、第二台阶的子程序
N10	G01 Z-4 F60;	相对值编程，Z轴工进 4mm，主轴进给 60mm/min
N20	X80;	从左至右铣削 2mm
N30	G00 Z4;	快速抬刀
N40	X-80	快速返回左侧
N50	G00 Z-2;	快速下刀 2mm，为下一次切削做准备
N60	M99;	子程序结速，返回主程序

五、任务学习手记（见表 27-5）

表 27-5 任务学习手记

学生姓名		第____组	组名	
同组人姓名				
任务学习与执行过程				
学习体会				
巩固练习				
个人自评	本人签名：_____			
小组评价	组长签名：_____			
教师评价	教师签名：_____			

一、项目任务书

表 28-1 项目任务书

167



续表

任务内容：制定凹模的加工工艺并编制其数控加工程序	
学习指令：	
备 注	

二、学习导读

使用刀具半径补偿时应避免过切现象。使用刀具半径补偿和去除刀具半径补偿时，刀具必须在所补偿的平面内移动，且移动距离应大于刀具半径补偿值。加工半径小于刀具半径的内圆弧时，进行半径补偿时将产生过切。只有在过渡圆角 $R \geq \text{刀半径 } r + \text{精加工余量}$ 的情况下才能正常切削，否则将产生过切。

在通常情况下铣刀不用来直接铣孔，以防止刀具崩刃。对于没有型腔的内轮廓的加工，不可以用铣刀直接向下铣削，在没有特殊要求的情况下一般先加工预制工艺孔，让铣刀顺利地从预制工艺孔处开始铣削。

三、任务解析

凹模零件材料为 45 退火钢，毛坯为 175mm×135mm×15mm 的板料，在立式数控铣床上做内轮廓的加工。由于要加工内轮廓，故需要加工工艺预制孔以便于立铣刀下刀加工。

四、任务实施（零件加工工艺分析与编程）

1. 工装

加工内轮廓时，用两块标准垫块垫在工件下表面，使用螺钉压板装夹。注意垫起位置应在零件轮廓的外侧，以防止在加工过程中切削垫块。

加工工艺路线：装夹，找正，对刀→钻削工艺孔→粗加工轮廓→精加工轮廓，即在 $\phi 100$ 内轮廓中心处，采用直径 $\phi 20$ 的麻花钻加工一个预制工艺孔→用 $\phi 20$ 立铣刀从预制孔处软切入，逆铣，对轮廓沿顺时针粗加工，使用延长线办法从直边软切入；Z 方向分两次进刀执行轮廓加工程序，每次在 Z 方向进刀 7.5mm，保证内轮廓精加工余量为 0.5mm→用 $\phi 20$ 立铣刀从内轮廓空心处下刀，顺铣，对轮廓沿逆时针精加工，使用延长线办法从直边软切入。

2. 刀具选择

凹模零件所用刀具见表 28-2。

表 28-2 数控加工刀具卡片

产品名称或代号		×××	零件名称	凹模		零件图号	×××
序号	刀具号	刀具规格名称	数量	加工表面	刀尖半径 R/ mm	刀尖方位 T	备注
1	T01	$\phi 20$ 麻花钻	1	加工工艺预制孔			
2	T02	直径为 $\phi 20$ 的三刃立铣刀	1	轮廓的粗加工，留出 0.2mm 的加工余量			
3	T03	直径为 $\phi 12$ 的直柄四刃立铣刀	1	轮廓的精加工			
编制		×××	审核	×××	批准	×××	共 页 第 页



3. 制作加工工艺卡

凹模零件的加工工步及切削用量列于加工工艺卡中，见表 28-3。

表 28-3 加工工艺卡

单位名称	×××			产品名称或代号		零件名称		零件图号	
				×××		凹模		×××	
工序号	程序编号			夹具名称		使用设备		车间	
001	×××			螺钉压板		数控铣床/加工中心		×××	
工步号	工步内容			刀具号	刀具规格 (mm)	主轴转速 $n/(r/min)$	进给速度 $f/(mm/r)$	背吃刀量 $a_p/(mm)$	备注
1	加工工艺预制孔			T01	φ20 麻花钻	65	20	10	自动
2	轮廓的粗加工留出 0.2mm 的加工余量			T02	φ20 立铣刀	300	50	10	自动
3	轮廓的精加工			T03	φ12 立铣刀	500	80		自动
编制	×××	审核	×××	批准	×××	年 月 日		共 页	第 页

4. 程序编制

凹模数控加工程序清单见表 28-4。

表 28-4 凹模数控加工程序清单

程序号：O0028		
程序段号	程序内容	程序说明
N10	G90 G21 G40 G49 G80;	采用绝对尺寸指令，公制，注销刀具半径补偿、长度补偿和固定循环功能。主轴安装 T01 号刀具，钻φ20 预制工艺孔
N11	M03 S65;	主轴以 65r/min 正转
N12	G00 G54 X0 Y0;	建立工件坐标系，快速定位至工件中心位置
N14	G43 H01 Z100;	1 号刀具长度补偿，快速定位至工件上方 100mm 处
N16	Z50 M08;	快速定位至工件上方 50 mm 处，冷却液开
N20	Z5;	Z 轴移动到 5 mm 处
N22	G01 Z-20 F20.0;	Z 轴以 20mm/min 的速度钻φ50 的预制孔
N24	Z5 F300;	以工进速度 300 mm/min 退刀
N26	G00 Z200 M09;	冷却液关，Z 向退刀至 Z200 处，为换刀做准备
N28	M05;	主轴停
N30	M00;	程序暂停，手动换 T02 号φ20 立铣刀，粗铣轮廓
N32	G90 G21 G40 G49 G80;	采用绝对尺寸指令，公制，注销刀具半径补偿和固定循环功能
N34	G00 G90 G54 X0 Y0 M03 S300;	建立工件坐标系，快速定位至工件中心位置，主轴正转



程序号: O0028		
程序段号	程序内容	程序说明
N36	G43 H02 Z100;	2 号刀具长度补偿, 快速定位至工件上方 100mm 处
N38	Z5 M08;	快速下刀至 Z5 处, 切削液开
N40	G01 Z-7.5 F50;	Z 向工进下刀至工件上表面下方 7.5mm 处
N42	G01 G42 X-29 D02;	2 号刀具半径补偿, D02=10.5mm, 刀具半径 10mm, 精加工余量 0.5mm 直线进给至 X-29
N46	G01 X29	
N44	G01 Y95;	顺时针铣削内轮廓, 沿切线切入至 Y95 处
N48	G01 Y40.731;	
N50	G02 X-29 Y40.731 R-50;	顺时针逆铣 $\phi 100$ 内轮廓
N52	G01 X0;	退刀至 X0, Y40.731 处
N54	G40 Y0;	刀具由 Y40.731 移动至 Y0, 取消刀具半径补偿
N56	G01 Z-16 F50;	Z 向下刀至工件下方 16mm 处
N58	G01 G42 X-29 D02;	2 号刀具半径补偿, D02=10.5mm, 直线进给至 X-29 处
N60	G01 Y95;	顺时针铣削内轮廓, 沿切线切入至 Y95 处
N62	X29;	直线插补 X29 处
N64	Y40.731;	Y 向插补至 Y40.731
N66	G02 X-29 Y40.731 R-50;	顺时针逆铣 $\phi 100$ 内轮廓
N68	G01 X0;	X 向退刀
N70	G40 Y0;	取消刀具半径补偿
N72	G00 G90 Z150 M09;	抬刀至 Z150 处, 切削液关, 为换刀做准备
N74	M05;	主轴停止
N76	M00;	程序暂停, 手动换 T03 号 $\phi 20$ 立铣刀
N78	G90 G21 G40 G49 G80;	采用绝对尺寸指令, 公制, 注销刀具半径补偿、长度补偿和固定循环功能
N80	G00 G90 G54 X0 Y0 S500 M03;	建立工件坐标系, 主轴正转, 转速 500r/min
B82	G43 G00 Z100 H03;	建立 3 号刀具的长度补偿值
N84	Z5;	Z 轴进刀至工件上方 5mm 处
N86	G01 Z-15.2 F80;	刀具比实际值深 0.2mm
N88	G01 G41 X29 D03;	建立刀具半径 (左) 补偿, D03=6mm, 逆时针顺铣对轮廓精加工
N90	G01 Y89;	直线插补至 Y89mm 处
N92	G03 X23 Y95 R6;	逆时针圆弧插补右侧 R6 圆弧
N94	G01 X-23;	直线插补至 X-23 处
N96	G03 X-29 Y89 R6;	逆时针插补左侧 R6 圆弧
N98	G01 Y40.731;	直线插补至 Y40.731 处
N100	G03 X29 Y40.731 R-50;	逆时针圆弧插补, 对 $\phi 100$ 圆周内轮廓顺铣精加工
N102	G01 X0;	精加工结束, 工进至 X0
N104	G40 Y0;	取消圆弧半径补偿
N106	G00 Z150 M09;	快速抬刀至 Z150, 切削液停
N108	M05;	主轴停止
N110	M30;	程序结束并返回



五、任务学习手记（见表 28-5）

表 28-5 任务学习手记

学生姓名		第_____组	组名	
同组人姓名				
任务学习与执行过程				
学习体会				
巩固练习				
个人自评	本人签名：_____			
小组评价	组长签名：_____			
教师评价	教师签名：_____			

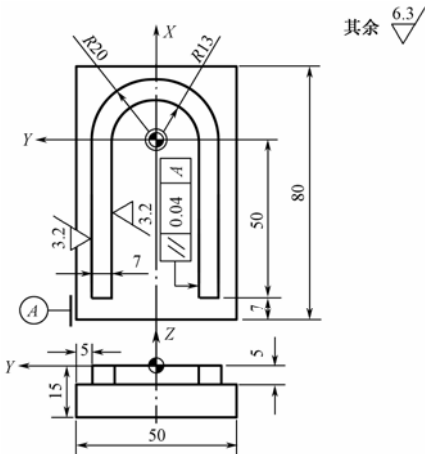
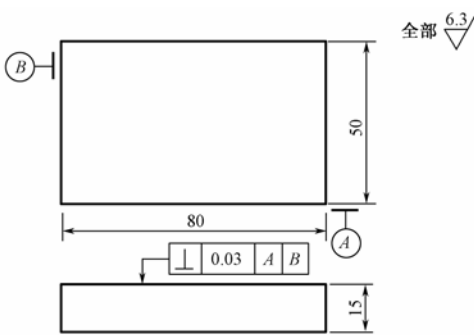


任务二十九 外轮廓（面）数控加工程序的编制

一、项目任务书

外轮廓（面）数控加工程序的编制项目任务书，见表 29-1。

表 29-1 项目任务书

情境名称	轮廓（面）数控加工程序的编制		
学习目标	1. 掌握外轮廓的加工工艺 2. 学会正确选用外轮廓的加工刀具及合理的切削用量 3. 掌握外轮廓编程的基本方法，正确调用刀具参数进行刀具补偿		
<div></div>			
零件名称	U 形台	材料	45 钢
<div></div>			
零件毛坯图			
任务内容：制定 U 形台的加工工艺并编制其数控加工程序			
学习指令：			
备注			



二、学习导读

同一把刀可以有多个刀具半径补偿，用不同的刀具半径补偿可以去除较多的加工余量，同时实现工件的粗加工。粗、精加工时刀具长度补偿要准确，防止因刀具补偿误差而出现接刀痕迹，甚至在精加工时留有台阶或沟槽。

三、任务解析

加工工艺路线：用 $\phi 16$ 立铣刀粗加工内轮廓→用 $\phi 16$ 立铣刀粗加工外轮廓→用 $\phi 16$ 立铣刀精加工内轮廓→用 $\phi 16$ 立铣刀精加工外轮廓。

四、任务实施（零件加工工艺分析与编程）

1. 工装

采用机用虎钳装夹的方法，底部用垫块垫起。

2. 刀具选择

零件加工中所选用刀具见表 29-2。

表 29-2 数控加工刀具卡片

产品名称或代号		×××		零件名称		U 形台		零件图号	×××
序号	刀具号	刀具规格名称		数量	加工表面		刀尖半径 R/ mm	刀尖方位 T	备注
1	T01	$\phi 20$ 立铣刀		1	轮廓的粗加工，留 0.4mm 的余量				
2	T02	$\phi 16$ 立铣刀		1	轮廓的精加工				
编制		×××	审核	×××	批准	×××		共 页	第 页

3. 制作加工工艺卡

U 形台零件的加工工步及切削用量列于加工工艺卡中，见表 29-3。

表 29-3 加工工艺卡

单位名称	×××		产品名称或代号			零件名称		零件图号	
			×××			U 形台		×××	
工序号	程序编号		夹具名称			使用设备		车间	
001	×××		机用虎钳			数控机床/加工中心		×××	
工步号	工步内容		刀具号		刀具规格 (mm)	主轴转速 n/(r/min)	进给速度 f/(mm/r)	背吃刀量 a _p /(mm)	备注
1	轮廓的粗加工，0.4mm 的余量		T01		φ20 立铣刀	400	—	40	
2	轮廓的精加工		T01		φ16 立铣刀	500	0.4	150	
编制	×××	审核	×××	批准	×××	年 月 日		共 页	第 页



4. 程序编制

U 形台数控加工程序清单见表 29-4。

表 29-4 U 形台数控加工程序清单

程序号: O0029		
程序段号	程序内容	程序说明
N10	G90 G21 G40 G49 G80;	采用绝对尺寸指令, 公制, 注销刀具半径补偿和固定循环功能, 主轴上安装 $\phi 20$ 立铣刀
N12	S400 M03;	主轴以 400 r/min 速度正转
N16	G90 G54 G00 X-60 Y0;	执行 G54 偏移和工件坐标的距离偏移
N18	G43 G00 Z5 H01;	调用 01 号刀具长度补偿, Z 轴迅速到达工件坐标系 5mm 的位置
N20	M08;	打开冷却液
N22	G01 Z-5 F40;	Z 轴直线切削, 下刀到深度为 5 mm, 粗加工轮廓, 余量 0.4mm
N24	G41 G00 X-60 Y-13 D01;	建立刀具半径左补偿, 移动到 X-60, Y-13 的位置, D01=10.4mm
N26	G01 X0;	沿 X 轴直线插补
N28	G03 X0 Y13 I0 J03;	逆时针圆弧插补内轮廓
N30	G01 X-50 F40;	粗铣 U 形台内轮廓
N32	Y20;	粗铣 U 形台外轮廓
N34	X0;	粗铣 U 形台外轮廓
N36	G02 X0 Y-20 I0 J -20;	顺时针铣外轮廓圆弧
N38	G01 X-50;	粗铣 U 形台外轮廓
N40	Y0;	粗铣结束, 退刀至 Y0 处
N42	G01 G40 X-60;	取消刀具半径补偿
N44	G00 G90 Z200;	快速退刀至 Z200 处
N46	M05;	主轴停止
N48	M09;	冷却液关
N50	M00;	程序暂停, 手动换 T02 号刀, $\phi 16$ 直柄立铣刀精加工
N52	G90 G21 G40 G49 G80;	采用绝对尺寸指令, 公制, 注销刀具半径补偿和固定循环功能
N54	S500 M03;	主轴正转, 转速 500r/min
N56	G00 G54 X-60 Y0;	快速移动至 X-60 Y0 处
N58	G43 G00 Z5 H02;	H02 包含 2 号刀具的长度补偿值, 定位至工件上方 5mm 处
N60	M08;	打开冷却液
N62	G01 Z-5 F150;	刀具沿 Z 轴以 50 mm/min 直线插补至 Z-5 mm 处
N64	G41 G00 X-60 Y-13 D02;	建立刀具半径左补偿, 补偿号 D02, D02 为 8mm
N66	G01 X0 F150;	精铣内轮廓
N68	G03 X0 Y13 I0 J13;	精铣 U 形台圆弧内轮廓
N70	G01 X-50;	精铣内轮廓
N72	Y20;	精铣外轮廓
N74	X0;	精铣外轮廓
N76	G02 X0 Y-20 I0 J -20;	精铣 U 形台圆弧外轮廓
N78	G01 X-50;	精铣外轮廓
N80	Y0;	精铣结束, 退刀至 Y0 处
N82	G01 G40 X-60;	取消刀具半径补偿
N84	G00 Z150;	快速退刀至 Z150 处
N86	M05;	主轴停止
N88	M09;	冷却液关
N90	M30;	程序结束并返回



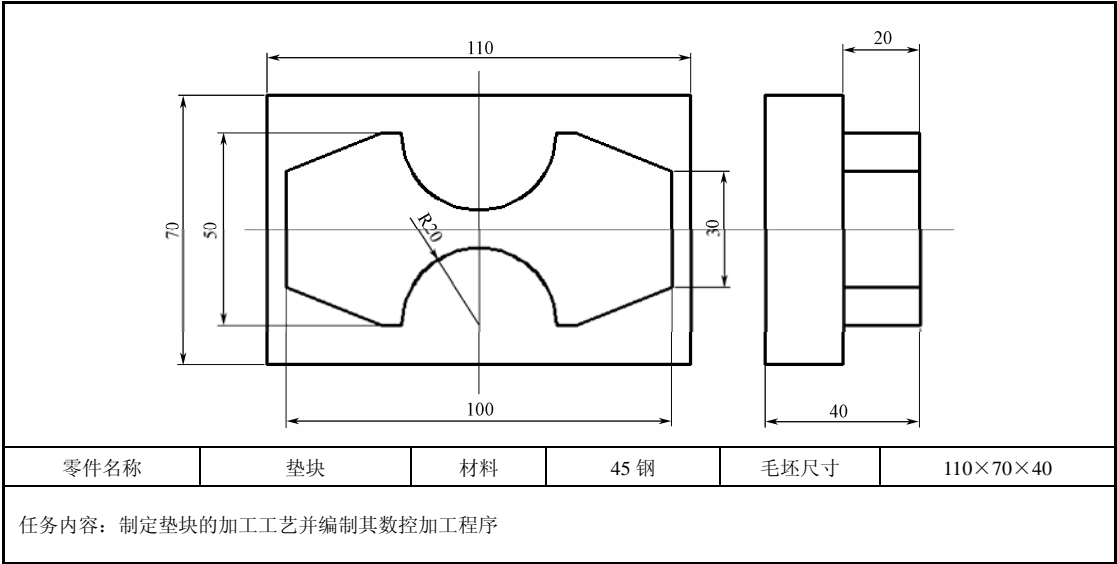
五、任务学习手记（见表 29-5）

表 29-5 任务学习手记

学生姓名		第____组	组名	
同组人姓名				
任务学习与执行过程				
学习体会				
巩固练习				
个人自评	本人签名：_____			
小组评价	组长签名：_____			
教师评价	教师签名：_____			



拓展训练任务



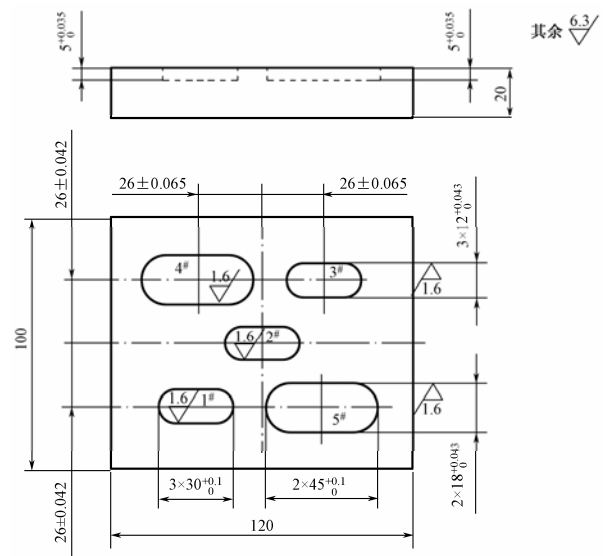
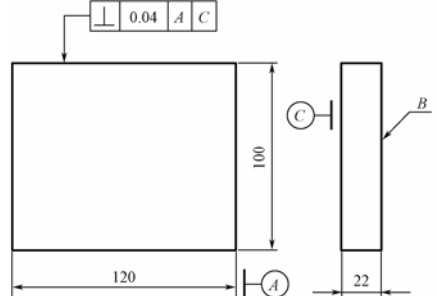
情境六 腔槽（面）数控加工程序的编制

任务三十 封闭直槽（面）数控加工程序的编制

一、项目任务书

封闭直槽（面）数控加工程序的编制项目任务书，见表 30-1。

表 30-1 项目任务书

情境名称	腔槽（面）数控加工程序的编制		
学习目标	1. 掌握键槽的加工工艺，能正确选用刀具及合理的切削参数 2. 能区分键槽刀及立铣刀的应用特点 3. 能使用图形缩放功能编制程序		
<div></div>			
零件名称	底板	材料	45 钢
<div></div>			



毛坯尺寸	$\phi 50 \times 100$
任务内容：制定底板的加工工艺并编制其数控加工程序	
学习指令	坐标系设定指令 G54/G55/G56/G57
备注	

二、学习导读

利用工件的底面和一个侧面在机用虎钳上定位并夹紧工件。零件的底面要垫一定厚度的标准块，使工件加工时，其上表面露出钳口外 8~10mm，以免对刀有误或操作失误时损坏刀具或台钳，并用百分表检查工件的上表面是否上翘，保证工件的轴线水平。

对加工程序指定的图形指令进行缩放，有两种指令格式。

1. 比例因子相等

指令格式为：

G51 X__Y__Z__P__;

G50 取消比例缩放

式中 X__Y__Z__为比例缩放中心，以绝对值指定；P__为比例因子，指定范围为 0.001~999.999 倍。

利用上述指令，由 P 指定的比例因子，X、Y、Z 作为比例缩放中心，使下一个移动指令按比例缩放。

如图 30-1 所示 ABCD 为程序指令的图形，abcd 为缩放后的图形，O 为缩放中心。

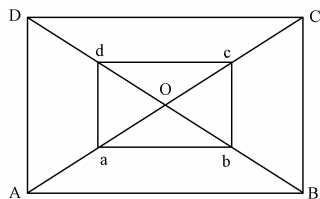


图 30-1 G51 比例缩放

2. 各轴比例因子单独指定

通过对各轴指定不同的比例，可以按各自的比例缩放各轴。

指令格式：

G51 X__Y__Z__I__J__K__;

其中，X__Y__Z__为比例缩放中心，以绝对值指定；I、J、K 为各轴（X、Y、Z）比例因子，指定范围为 $\pm 0.001 \sim \pm 9.999$ 。比例缩放方式由 G50 取消。

注意：比例缩放功能不能缩放偏置量，如刀具半径补偿量、刀具长度补偿量等。如图 30-2 所示，编程图形缩小 1/2，刀具半径补偿量不变。

【例 30-1】 原始刀具轨迹如图 30-3 所示，要求按图形中的窗口轮廓轨迹走刀，其程



序见表 30-2。

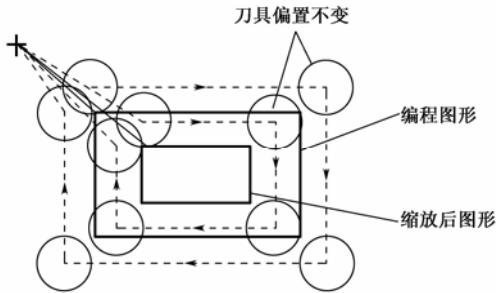


图 30-2 图形缩放与刀偏量的关系

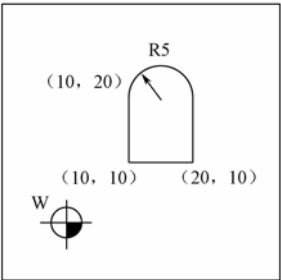


图 30-3 原始刀具轨迹

表 30-2 原始刀具轨迹走刀程序

程 序	注 释
O0001;	主程序名
G90 G00 X0 Y0;	到工件原点
M98 P0200;	调用 P0200 子程序
M05;	主轴停
M30;	主程序结束
O0200;	子程序名
M03 S1500 F100;	主轴正转设定进给速度为 100mm/min
G00 Y10;	快速到达 Y0
G42 D01 G01 X10;	建立右刀补
G01 X20;	加工到 X20
Y20;	加工到 Y20
G03 X10 R5;	圆弧加工
G01 Y8;	走离工件
G40 G00 X0 Y0;	取消刀补，并回原点
M99;	子程序结束，返回主程序

以程序原点为缩放中心将图形放大 1 倍进行加工，如图 30-4 所示，其数控加工程序见表 30-3。

表 30-3 以程序原点为缩放中心的加工程序

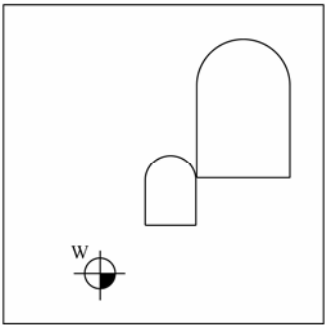


图 30-4 以程序原点为缩放中心进行编程

程 序	注 释
O0001;	主程序名
G00 G90 X0 Y0;	到达程序原点
G51 P2;	以程序原点为缩放中心，将图形放大 1 倍
M98 P0200;	调用子程序 O0200，加工放大后的图形
G50;	取消缩放
M05;	主轴停
M30;	主程序结束

以给定点为缩放原点将图形放大一倍进行加工，如图 30-5 所示，其数控加工程序见表 30-4。

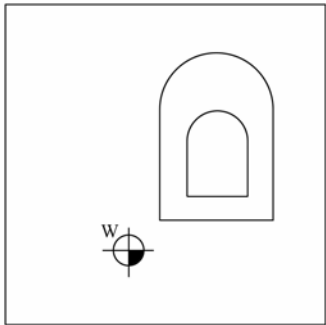


表 30-4 以给定点为缩放原点的加工程序

程 序	注 释
O0002;	主程序名
G00 G90 X0 Y0;	到达程序原点
G51 X15 Y15 P2;	以 (X15, Y15) 为缩放中心, 将图形放大 1 倍
M98 P0200;	调用子程序 O0200, 加工放大后的图形
G50;	取消缩放
M05;	主轴停
M30;	主程序结束

图 30-5 以给定点为缩放中心进行编程

三、任务解析

加工工艺路线如下。

(1) 粗、精铣上表面。

粗铣上表面, 粗铣余量根据毛坯情况实现程序设定值; 留精铣余量 0.5mm。

(2) 粗、精铣 3 个宽 12 的键槽

① 粗铣键槽, 留单边余量 1.0mm。

② 半精铣键槽, 留单边余量 0.20mm。

③ 精铣键槽到要求尺寸。

(3) 粗、精铣 2 个宽 18 的键槽

① 粗铣键槽, 留单边余量 1.0mm。

② 半精铣键槽, 留单边余量 0.20mm。

③ 精铣键槽到要求尺寸。

四、任务实施（零件加工工艺分析与编程）

1. 工装

采用机用虎钳装夹的方法, 底部用垫块垫起。

2. 刀具选择

底板零件加工所选用刀具见表 30-5。

表 30-5 数控加工刀具卡片

产品名称或代号			×××	零件名称		底板		零件图号	×××
序号	刀具号	刀具规格名称		数量	加工表面		刀尖半径 R/ mm	刀尖方位 <i>T</i>	备 注
1	T01	φ100 端铣刀		1	粗铣、精铣上表面，留精铣余量 0.5mm				
2	T02	φ10 键槽铣刀		1	粗铣 1#、2#、3#键槽，宽度至 10.0mm				
3	T03	φ10 立铣刀		1	半精铣、精铣 1#、2#、3#键槽				
4	T04	φ16 键槽铣刀		1	粗铣 4#、5#键槽				
5	T05	φ16 立铣刀		1	半精铣、精铣 4#、5#键槽				
编制		×××	审核	×××	批准		×××	共 页	第 页



3. 制作加工工艺卡

底板加工工步及切削用量列于加工工艺卡中，见表 30-6。

表 30-6 加工工艺卡

单位名称		×××		产品名称或代号		零件名称		零件图号	
				×××		底板		×××	
工序号		程序编号		夹具名称		使用设备		车间	
001		×××		机用虎钳		数控车铣床/加工中心		×××	
工步号	工步内容			刀具号	刀具规格 (mm)	主轴转速 n/(r/min)	进给速度 f/(mm/r)	背吃刀量 a _p /(mm)	备注
1	粗铣上表面，留精铣余量 0.5mm			T01	φ100 端铣刀	100	60	1.5	自动
2	精铣上表面至要求尺寸			T01		150	80	0.5	自动
3	粗铣 1#、2#、3#键槽，宽度至 10.0mm			T02		400	60	5.0	自动
4	半精铣 1#、2#、3#键槽，宽度至 11.6mm			T03		500	80	0.8	自动
5	精铣 1#、2#、3#键槽至要求尺寸			T03		500	80	0.2	自动
6	粗铣 4#、5#键槽，宽度至 16mm			T04		400	60	5.0	自动
7	半精铣 4#、5#键槽，宽度至 17.6mm			T05		500	50	0.8	自动
8	精铣 4#、5#键槽至要求尺寸			T05		500	50	0.2	自动
编制		×××	审核	×××	批准	×××	年 月 日		共 页 第 页

4. 程序编制

底板零件数控加工程序清单见表 30-7。

表 30-7 数控加工程序清单

选择键槽中心为坐标系原点，选择工件上表面为工件坐标系的 Z=0 面，工件坐标系分别设在 G54、G55、G56、G57 及 G58 中，G54 工件坐标系中心为 2#槽中心，G55 工件坐标系中心为 1#槽中心，G56 工件坐标系中心为 3#槽中心，G57 工件坐标系中心为 4#槽中心，G58 工件坐标系中心为 5#槽中心		
程序号：O6001		
程序段号	程序内容	程序说明
N01	G54 G90 G00 S300 M03；	主轴安装 T01 号刀具，粗铣上表面，留余量 0.5mm
N12	G00 X-120.0 Y0；	快进至 X-120，Y0 处
N14	G43 Z100.0 H01；	建立刀具长度补偿
N16	G00 Z5.0 ；	快进至 Z5 处
N18	G01 Z0.5 F180；	工进至 Z0.5 处
N20	X120.0；	粗铣工件上表面
N22	G00 Z100.0；	快速抬刀
N24	M00；	程序暂停
N26	G00 Z3.0 S350 M03；	快速下刀至 Z3 处
N28	G01 Z0 F140；	工进至 Z0 表面
N30	X-120.0；	利用 T01 号刀具精铣上表面
N32	G00 Z200.0 M05；	快速抬刀至 Z200 处，主轴停止
N34	M00；	程序暂停，手动换 T02 刀具
N36	G55 G90 G00 X0 Y0；	选用 G55 工件坐标系，绝对值编程
N37	M03 S400；	主轴正转
N38	G43 G00 Z100 H02；	调用子程序 O6002，粗铣 1#键槽
N39	M98 P6002；	



N40	G54 G90 G00 X0 Y0;	选用 G54 工件坐标系
N42	H02 M98 P6002;	调用子程序 O6002, 粗铣 2#键槽
N44	G56 G90 G00 X0 Y0;	选用 G56 工件坐标系
N46	H02 M98 P6002;	调用子程序 O6002, 粗铣 3#键槽
N48	M00;	程序暂停, 手动换 T03 刀具
N50	G55 G43 G00 Z150 H03 G90;	选用 G55 工件坐标系
N52	S800 F80 D03 M98 P6003;	调用子程序 O6003, 半精铣 1#键槽, D03=5.2mm
N54	G54 G90;	选用 G54 工件坐标系
N56	D03 M98 P6003;	调用子程序 O6003, 半精铣 2#键槽
N58	G56 G90;	选用 G56 工件坐标系
N60	D03 M98 P6003;	调用子程序 O6003, 半精铣 3#键槽
N66	G55 G90 G50;	选用 G55 工件坐标系
N68	S800 F80 D04 M98 P6003;	调用子程序 O6003, 精铣 1#键槽, D04 = 5mm
N70	G54 G90 G50;	选用 G54 工件坐标系
N72	D04 M98 P6003;	调用子程序 O6003, 精铣 2#键槽
N74	G56 G90 G50;	选用 G56 工件坐标系
N76	D04 M98 P6003;	调用子程序 O6003, 精铣 3#键槽
N78	M05;	
N80	M00;	程序暂停, 手动换 T04 刀具
N82	G57 G90 G43 G00 Z150 H04	选用 G57 工件坐标系, 建立刀具长度补偿
N84	G51 X0 Y0 Z0 I1.5 J1.5 K1.0;	以 G57 工件坐标系原点为缩放中心, X、Y 值放大 1.5 倍
N86	S400 F60 M98 P6002;	调用子程序 O6002, 粗铣 4#键槽
N88	G58 G90 G50;	选用 G58 工件坐标系
N90	G51 X0 Y0 Z0 I1.5 J1.5 K1.0;	以 G58 工件坐标系原点为缩放中心, X、Y 值放大 1.5 倍
N92	M98 P6002;	调用子程序 O6002, 粗铣 5#键槽
N94	M05;	
N96	M00;	程序暂停, 手动换 T05 刀具
N98	G57 G90 G43 G00 Z150 H05;	选用 G57 工件坐标系
N100	G51 X0 Z0 I1.5 J1.5 K1.0;	以 G57 工件坐标系原点为缩放中心, X、Y 值放大 1.5 倍
N102	S500 F50 D05 M98 P6003;	调用子程序 O6003, 半精铣 4#键槽, D05=8.2
N104	G58 G90 G50;	选用 G58 工件坐标系
N106	G51 X0 Y0 Z0 I1.5 J1.5 K1.0;	以 G58 工件坐标系原点为缩放中心, X、Y 值放大 1.5 倍
N108	D05 M98 P6003;	调用子程序 O6003, 半精铣 5#键槽
N110	M05 G50;	取消比例缩放功能
N112	G57 G90;	选用 G57 工件坐标系,
N114	G51 X0 Z0 I1.5 J1.5 K1.0;	以 G57 工件坐标系原点为缩放中心, X、Y 值放大 1.5 倍
N126	S500 F50 D06 M98 P6003;	调用子程序 O6003, 精铣 4#键槽, D06=8.0mm
N118	G58 G90 G50;	选用 G58 工件坐标系
N120	G51 X0 Y0 Z0 I1.5 J1.5 K1.0;	以 G58 工件坐标系原点为缩放中心, X、Y 值放大 1.5 倍
N122	D06 M98 P6003;	调用子程序 O6003, 精铣 5#键槽
N124	M05 G50;	取消比例缩放功能
N116	M30;	主程序结束
	O6002	粗铣键槽的子程序
N10	G90 G00 X9.0 Y0.0 M03;	快移定位, 主轴正转
N12	Z3.0 M08;	刀具快速接近工件上表面, 切削液开
N14	G01 Z-5.0 F100;	下刀
N16	X-9.0;	粗铣键槽
N18	G00 Z100.0 M09 M05;	抬刀, 切削液停
N20	M99;	子程序结束



续表

	O6003	半精铣、精铣键槽子程序
N10	G00 X9.0 Y0 Z100.0 M03;	刀具快速定位
N12	Z3.0 M08	快进工件上表面 Z3 处
N14	G01 Z-5.0;	下刀到槽底
N16	G41 X3.0;	建立刀具半径左补偿，开始铣削键槽
N18	G03 X9.0 Y-6.0 R6.0;	沿 R6 圆弧延长线逆时针切入
N20	Y6.0 R6.0;	逆时针铣键槽
N22	G01 X-9.0;	铣键槽
N24	G03 Y-6.0 R6.0;	铣键槽左侧半圆弧
N26	G01 X9.0;	铣键槽结束
N28	G03 X14 Y0 R5;	沿 R5 圆弧线切出
N30	G40 G01 X0 Y0;	取消刀具半径左补偿
N32	G00 Z100.0 M09 M05;	快速抬刀
N34	M99;	子程序结束

五、任务学习手记（见表 30-8）

表 30-8 任务学习手记

学生姓名		第_____组	组名	
同组人姓名				
任务学习与执行过程				
学习体会				
巩固练习				
个人自评	本人签名：_____			
小组评价	组长签名：_____			
教师评价	教师签名：_____			

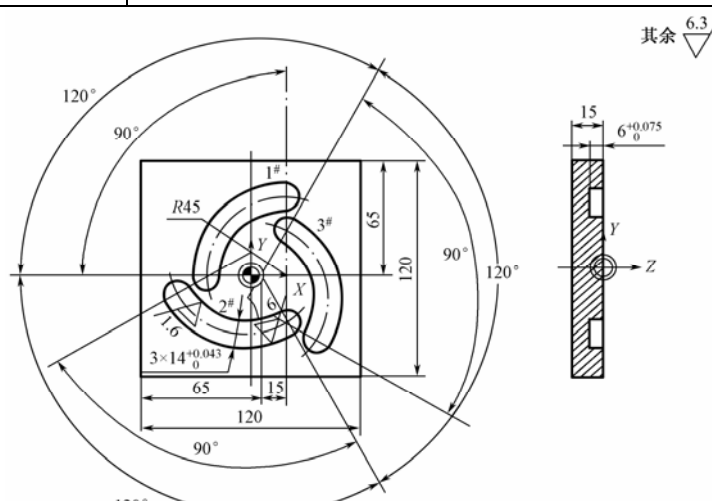
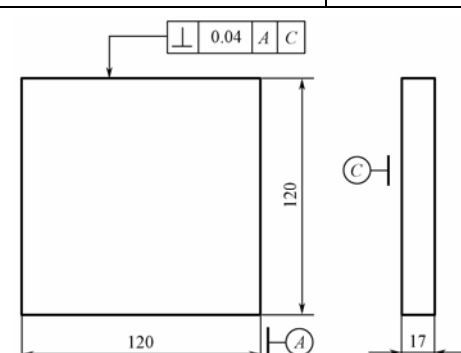


任务三十一 圆弧槽（面）数控加工程序的编制

一、项目任务书

圆弧槽（面）数控加工程序的编制项目任务书，见表 31-1。

表 31-1 项目任务书

情境名称	腔槽（面）数控加工程序的编制		
学习目标	1. 了解圆弧槽加工工艺，能正确选用刀具及合理的切削用量 2. 能正确设置刀具参数和工件零点偏置 3. 能使用坐标系旋转指令编制程序		
<div></div>			
零件名称	圆弧槽板	材料	45 钢
<div></div>			
零件毛坯图			
任务内容：制定圆周弧槽板的加工工艺并编制其数控加工程序			
学习指令			
备 注			



二、学习导读

利用工件的底面和一个侧面在机用虎钳上定位并夹紧。零件的底面要垫一定厚度的垫块，保证加工时工件上表面露出钳口 8~10mm，以免对刀有误或操作失误时损坏刀具，并用百分表检查工件的上表面是否上翘，保证工件的轴线水平。

三、任务解析

- (1) 粗、精铣上表面
- (2) 粗、精铣 3 个凹槽
 - ① 粗铣凹槽，留单边余量 1.0mm。
 - ② 半精铣凹槽，留单边余量 0.20mm。
 - ③ 精铣凹槽到要求尺寸。

四、任务实施（零件加工工艺分析与编程）

1. 工装

采用机用虎钳装夹的方法，底部用垫块垫起。

2. 刀具选择

圆弧槽板零件加工所选用刀具见表 31-2。

表 31-2 数控加工刀具卡片

产品名称或代号		×××		零件名称		圆弧槽板		零件图号		×××	
序号	刀具号	刀具规格名称		数量	加工表面		刀尖半径 R/ mm	刀尖方位 T	备注		
1	T01	φ125mm 端铣刀		1	粗铣上表面，留精铣余量 0.5mm						
					精铣上表面至要求尺寸						
2	T02	φ12mm 键槽铣刀		1	粗铣圆弧槽宽度至 12.0 mm						
3	T03	φ10mm 立铣刀		1	半精铣圆弧槽宽度至 13.6mm						
					精铣圆弧槽至要求尺寸						
编制		×××	审核	×××	批准		×××		共 页		第 页

3. 制作加工工艺卡

圆弧槽板的加工工艺及切削用量列于加工工艺卡中，见表 31-3。

表 31-3 加工工艺卡

单位名称	×××	产品名称或代号		零件名称		零件图号	
		×××		圆弧槽板		×××	
工序号	程序编号	夹具名称		使用设备		车间	
001	×××	机用虎钳		数控铣床/加工中心		×××	
工步号	工步内容	刀具号	刀具规格 (mm)	主轴转速 n/(r/min)	进给速度 f/(mm/r)	背吃刀量 a _p /(mm)	备注
1	装夹，找正，对刀						



续表

单位名称	×××		产品名称或代号		零件名称		零件图号	
			×××		圆弧槽板		×××	
工序号	程序编号		夹具名称		使用设备		车间	
001	×××		机用虎钳		数控机床/加工中心		×××	
工步号	工步内容		刀具号	刀具规格 (mm)	主轴转速 $n/(r/min)$	进给速度 $f/(mm/r)$	背吃刀量 $a_p/(mm)$	备注
2	粗铣上表面，留精铣余量 0.5mm		T01		100	60	1.5	自动
3	精铣上表面至要求尺寸		T01		150	80	0.5	自动
4	粗铣凹槽宽度至 12.0 mm		T02		530	80	6	自动
5	半精铣凹槽宽度至 13.6mm		T03		650	60	0.8	自动
6	精铣凹槽至要求尺寸		T03		650	60	0.2	
编制	×××	审核	×××	批准	×××	年 月 日	共 页	第 页

4. 程序编制

圆弧槽板数控加工程序清单见表 31-4。

表 31-4 圆弧槽板数控加工程序清单

注：选择工件中心为 X、Y 坐标系原点，选择工件的上表面为工件坐标系的 Z=0 面，机床坐标系设在 G54 上。		
	O0031	主程序
程序段号	程序内容	程序说明
N01	G54 G90 G00 Z100 S100 M03;	主轴安装 T01 号刀具，调用 G54 坐标系，绝对值编程，主轴正转
N02	G00 X-130.0 Y0;	快进至 X-130.0 Y0 处
N03	G43 Z30.0 H01;	设置 T01 号刀具长度补偿
N04	G00 Z5.0;	下刀至 Z5.0 处
N05	G01 Z0.5 F60;	工进至 Z0.5 处，准备粗铣上表面
N06	G01 X130.0;	从左至右粗铣上表面，留余量 0.5mm
N07	G00 Z100 M05	快速提刀至 Z100 处，主轴停
N08	G00X-130.0 Y0	快进至 X-130.0 Y0 处
N09	G00 Z5.0 S150 M03;	下刀至 Z5.0 处，主轴正转利用 T01 号刀具精铣上表面
N10	G01 Z0 F80;	工进至 Z0 处，准备精铣上表面
N11	X130.0;	从左至右精铣上表面
N12	G00 Z100.0 M05;	快速提刀至 Z100 处，主轴停
N13	M00;	程序暂停，手动换 T02 键槽铣刀
N14	G90 G54 G69 G40 G00 Z100;	绝对值编程，调用 G54 坐标系，取消坐标系旋转，取消刀具半径补偿
N15	M98 P3101;	粗铣 1#圆弧槽，手动换粗铣刀 T02
N16	G68 X0 Y0 R120.0;	逆时针旋转 120°
N17	M98 P3101;	粗铣 2#圆弧槽
N18	G69;	取消旋转功能
N20	G00 Z100 M05;	快速抬刀，主轴停止
N22	G68 R240.0;	坐标系逆时针旋转 240°
N24	M98 P3101;	粗铣 3#圆弧槽
N26	G69;	取消旋转功能
N28	M00;	程序暂停，手动换 T03 刀具
N30	G90 G54 G69 G40;	
N32	M98 P3102;	半精铣 1#凹槽
N34	M00;	程序停止，测量实际精铣尺寸
N36	M98 P3103;	精铣 1#凹槽
N38	M00;	绝对值编程，调用 G54 坐标系，取消旋转，取消圆弧半径补偿
N40	G68 R120.0;	逆时针旋转 120°



续表

N42	M98 P3102;	半精铣 2#凹槽
N44	M00;	程序停止, 测量实际精铣尺寸
N46	M98 P3103;	精铣 2#凹槽
N48	G69;	取消旋转功能
N50	M00;	
N52	G68 R240.0;	逆时针旋转 240°
N54	M98 P3102;	半精铣 3#凹槽
N56	M00;	程序停止, 测量实际精铣尺寸
N58	M98 P3103;	精铣 3#凹槽
N60	G69;	取消旋转功能
N62	M30;	主程序结束
	O3101	粗铣圆弧槽子程序
N10	G90 G00 X0 Y0;	绝对值编程, 快速定位至 X0, Y0 处
N12	Z100.0 M03 S530;	主轴快速移动到 Z100, 主轴正转
N14	G43 Z3.0 H02 M08;	刀具快速接近工件上表面, 建立 T02 刀具长度补偿, 切削液开
N16	G00 X-30.0 Y0;	刀具快进至 X-30, Y0 处
N18	G01 Z-6.0 F80;	下刀, 工进至 Z-6.0 处
N20	G02 X15.0 Y45.0 R45.0;	粗铣圆弧槽
N22	G00 Z5.0 M09;	快速抬刀, 切削液停
N24	X0 Y0;	快进至 X0, Y0 处
N26	M99;	子程序结束
	O3102	半精铣圆弧槽子程序
N10	G43 G00 Z100.0 H03 M03 S650;	建立刀具长度补偿
N12	X15.0 Y45.0 M08;	快速定位至 X15.0, Y45.0 处, 切削液开
N14	Z3.0;	快速接近工件上表面 Z3.0 处
N16	G01 Z-6.0 F60;	工进速度下刀
N18	G41 G01 Y52.0 D03;	建立刀具半径左补偿, D03=5.2mm
N20	G03 X-37.0 Y0 R52.0;	沿圆弧槽轮廓顺时针
N22	X-23.0 R7.0;	铣圆弧槽
N24	G02 X15.0 Y38.0 R38.0;	
N26	G03 Y52.0 R7.0;	
N28	G40 G01 Y45.0;	取消刀具半径左补偿
N30	G00 Z100.0 M09;	快速抬刀, 切削液停
N32	X0 Y0 M05;	快速定位至 X0, Y0, 主轴停
N34	M99;	子程序结束
	O3103	精铣圆弧槽子程序
N10	G43 G00 Z100 H03 M03 S650;	
N12	X15.0 Y45 M08;	
N14	Z3.0;	
N16	G01 Z-6.0 F60;	
N18	G41 G01 Y52.0 D04;	建立刀具半径左补偿, D04=5.0mm
N20	G03 X-37.0 Y0 R52.0;	沿圆弧槽轮廓顺时针
N22	X-23.0 R7;	精铣圆弧槽
N24	G02 X15.0 Y38.0 R38.0;	
N26	G03 Y52.0 R7.0;	
N28	G40 G01 Y45.0;	
N30	G00 Z100.0 M09;	
N32	X0 Y0 M05;	
N34	M99;	子程序结束



五、任务学习手记（见表 31-5）

表 31-5 任务学习手记

学生姓名		第____组	组名	
同组人姓名				
任务学习与执行过程				
学习体会				
巩固练习				
个人自评	本人签名：_____			
小组评价	组长签名：_____			
教师评价	教师签名：_____			

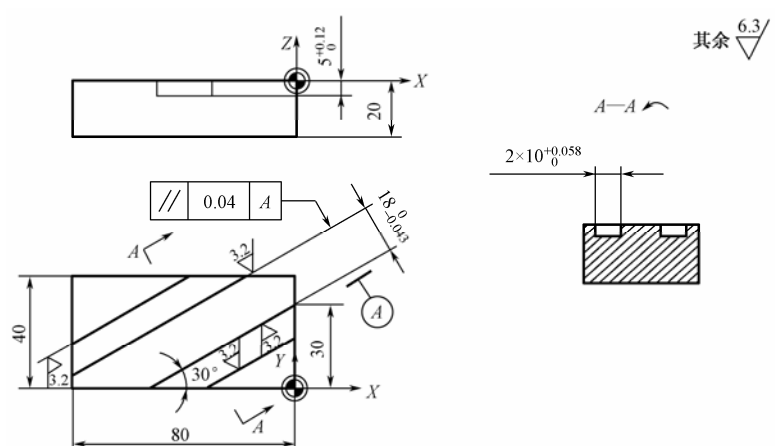
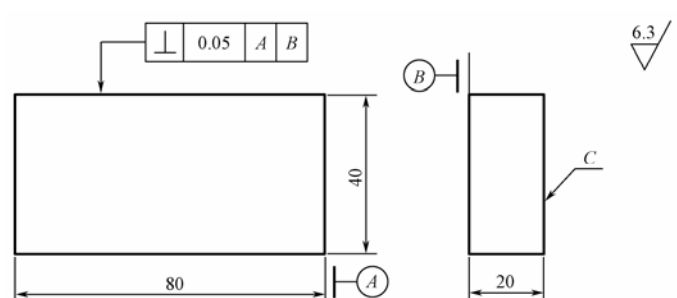


任务三十二 开式沟槽（面）数控加工程序的编制

一、项目任务书

开式沟槽（面）数控加工程序的编制项目任务书，见表 32-1。

表 32-1 项目任务书

情境名称	腔槽（面）加工技术		
学习目标	1. 了解开式沟槽的加工方法及编程方法 2. 能正确选择开式沟槽的加工刀具及加工参数		
<div><div></div></div>			
零件名称	槽板	材料	45 钢
<div><div></div></div>			
毛坯尺寸	零件毛坯图		
任务内容：制定槽板的加工工艺并编制其数控加工程序			
学习指令			
备注			



二、学习导读

本任务采用同一把刀具修改刀具半径补偿参数，实现半精加工、精加工，注意编程时对参数的具体操作。本任务属于开放性沟槽的铣削，加工时刀具可按延长线处进刀和退刀。

三、任务解析

两斜沟槽需要加工成宽 $10_0^{+0.058}$ mm、深 $5_0^{+0.12}$ mm、距离 $18_{-0.043}^0$ mm。两斜沟槽侧面有平行度的要求。

加工工艺路线：粗铣两斜沟槽，留单边余量 1.0mm→半精铣两斜沟槽，留单边余量 0.20mm→精铣两斜沟槽到要求尺寸，注意保证两槽距离及平行度。

四、任务实施（零件加工工艺分析与编程）

1. 工装

采用机用虎钳夹紧零件的外圆周面。

2. 刀具选择

见表 32-2。

表 32-2 数控加工刀具卡片

产品名称或代号		×××		零件名称		槽板		零件图号		×××	
序号	刀具号	刀具规格名称		数量	加工表面		刀尖半径 R/ mm	刀尖方位 T		备注	
1	T01	φ8mm 立铣刀		1	斜沟槽粗铣						
2	T02	φ8mm 立铣刀		1	斜沟槽半精铣/精铣						
编制		×××	审核	×××	批准	×××		共 页		第 页	

3. 制作加工工艺卡

槽板零件的加工工步及切削用量列于加工工艺卡中，见表 32-3。

表 32-3 加工工艺卡

单位名称		×××			产品名称或代号		零件名称		零件图号	
					×××		槽板		×××	
工序号		程序编号			夹具名称		使用设备		车间	
001		×××			机用虎钳		数控铣床/加工中心		×××	
工步号	工步内容				刀具号	刀具规格 (mm)	主轴转速 n/(r/min)	进给速度 f/(mm/r)	背吃刀量 a _p /(mm)	备注
1	粗铣斜沟槽至宽 8.0mm，留单边余量 1.0mm				T01	φ8 立铣刀	300	80	5.0	自动
2	半精铣斜沟槽至宽 9.6mm，留单边余量 0.2mm				T02	φ8 立铣刀	400	100	0.8	自动
3	精铣斜沟槽至要求尺寸				T02	φ8 立铣刀	500	150	0.2	自动
编制	×××	审核	×××	批准	×××	年 月 日		共 页	第 页	



4. 程序编制

槽板数控加工程序清单见表 32-4。

表 32-4 槽板数控加工程序清单

	O6008	
程序段号	程序内容	程序说明
N10	G90 G54 G00 X-53.792 Y-6.83;	主轴上安装 T01 号刀具， $\phi 8$ 立铣刀
N12	M03 S300;	
N14	G43 H01 Z100.0 M08;	建立刀具长度补偿
N16	G00 Z3.0;	快速下刀至 Z3.0 处
N18	G01 Z-5.0 F80;	粗铣右下角沟槽
N20	G01 X6.83 Y28.17;	
N22	G00 Z3.0;	
N24	X-86.83 Y6.427;	快速移刀
N26	G01 Z-5.0;	快速抬刀
N28	X-16.849 Y46.83;	
N30	G00 Z100.0 M09;	快速抬刀
N32	M05;	
N34	M00;	程序暂停后，转成手动方式，手动换 T02 号刀具 $\phi 8$ 立铣刀，准备半精加工与精加工
N36	G54 G00 X-53.792 Y-6.83 M03 S400;	换精铣刀半精铣右下角处沟槽
N38	G43 H02 Z3.0 M08;	
N40	G01 Z-5.0 F100;	
N42	G01 X-53.792 Y-6.83;	
N44	G41 X-51.292 Y-11.16 D01;	
N46	X9.33 Y23.84;	
N48	X4.33 Y32.5;	
N50	X-55.292 Y-2.5;	
N52	G40 X-53.792 Y-6.83;	
N54	G00 Z100.0 M05;	
N56	M00;	程序暂停，测量实际精铣余量
N58	M03 S500;	
N60	G00 X-53.792 Y-6.83;	精铣右下角处沟槽
N62	G00 G43 H02 Z3.0;	
N64	G01 Z-5.0 F150;	
N64	G01 Z-5.0 F150;	
N66	G41 X-51.292 Y-11.16 D02;	
N68	X9.33 Y23.84;	
N70	X4.33 Y32.5;	
N72	X-55.292 Y-2.5;	
N74	G40 X-53.792 Y-6.83 M09;	
N76	G00 Z100.0;	
N78	M05;	



续表

程序段号	程序内容	程序说明
	O6008	
N80	M00	
N82	G00 Z3.0 M03 S400;	半精铣另一个槽
N84	X-86.83 Y6.427;	
N86	G01 Z-5.0 F100	
N88	G41 X-84.33 Y2.097 D01;	
N90	X-14.349 Y42.5;	
N92	X-19.349 Y51.16;	
N94	X-89.33 Y10.757;	
N96	G40 X-86.83 Y6.427;	
N98	G00 Z100.0 M05;	
N100	M00;	程序暂停，测量精铣余量
N102	G00 Z3.0 M03 S500;	精铣另一个槽
N104	X-86.83 Y6.427;	
N106	G01 Z-5.0 F150;	
N108	G41 G01 X-84.33 Y2.097 D02;	
N110	X-14.349 Y42.5;	
N112	X-19.349 Y51.16;	
N114	X-89.33 Y10.757;	
N116	G40 X-86.83 Y6.427;	
N118	G00 Z100.0 M05;	
N120	M30;	

五、任务学习手记（见表 32-5）

表 32-5 任务学习手记

学生姓名		第____组	组名	
同组人姓名				
任务学习与执行过程				
学习体会				
巩固练习				



续表

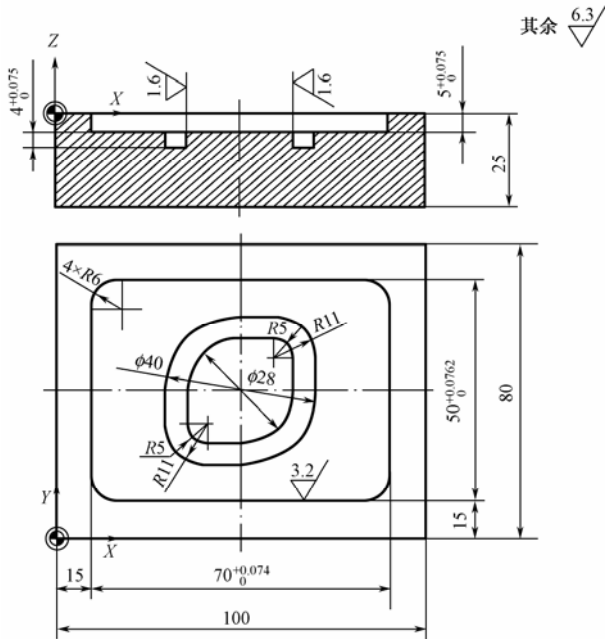
个人 自评	本人签名：_____
小组 评价	组长签名：_____
教师 评价	教师签名：_____

任务三十三 内型腔（面）数控加工程序的编制

一、项目任务书

内型腔（面）数控加工程序的编制项目任务书，见表 33-1。

表 33-1 项目任务书

情境名称	腔槽（面）加工技术		
学习目标	1. 了解内型腔的加工方法及编程方法 2. 能正确选择内型腔的加工刀具及加工参数		
<div></div>			
零件名称	腔槽座	材料	45 钢



毛坯尺寸	$\phi 50 \times 100$		
任务内容：制定腔槽座的加工工艺并编制其数控加工程序			
备 注			

二、学习导读

以工件的底面和侧面为定位安装面，用平行垫铁垫起毛坯，零件的底面要保证垫上一定厚度的标准块，用机用虎钳装夹工件，伸出钳口 8~10mm。定位时要利用百分表调整工件与机床 X 轴的平行度，使其控制在 0.02mm 之内。

三、任务解析

加工路线如下。

(1) 粗、精铣上表面

粗铣上表面，粗铣余量根据毛坯情况实现程序设定值，留精铣余量 0.5mm。

(2) 铣矩形腔

① 粗铣矩形腔，留单边余量 0.20mm。

② 精铣矩形腔到要求尺寸。

(3) 铣封闭凹槽

① 粗铣封闭凹槽，留单边余量 0.50mm。

② 半精铣封闭凹槽，留单边余量 0.10mm。

③ 精铣封闭凹槽到要求尺寸。

铣矩形腔时相关点的数学计算如下。

如图 33-1 所示，计算 $A(x_a, y_a)$ 、 $B(x_b, y_b)$ 、 $C(x_c, y_c)$ 、 $D(x_d, y_d)$ 、 $E(x_e, y_e)$ 、 $F(x_f, y_f)$ 、 $H(x_h, y_h)$ 。

设调用子程序次数为 n ，Y 向步距为 y ，槽宽为 B ，刀具直径为 d ，精铣余量为 Δ ，则有如下关系：

循环 1 次，铣出槽宽 $y+d$ ；



循环 2 次，铣出槽宽 $3y+d$;

循环 3 次，铣出槽宽 $5y+d$;

.....

循环 n 次，铣出槽宽 $(2n-1)y+d=B-2\Delta$ 。

(33-1)

将 $B=50$, $d=8$, $\Delta=0.2$ 代入式 (33-1) 得:

$$(2n-1)y=50-0.4-8=41.6$$

取 $y=6$, 得 $n=3$ (必须取整数), 则:

$$x_a=15+\Delta+d/2=15+0.2+4=19.2; Y_b=15+\Delta+d/2=19.2$$

$$x_b=15+70-\Delta-d/2=15+70-0.2-4=80.8; y_b=19.2$$

$$x_c=x_b=80.8; y_c=y_b+y=19.2+6=25.2$$

$$x_d=x_a=19.2; y_d=y_c=25.2$$

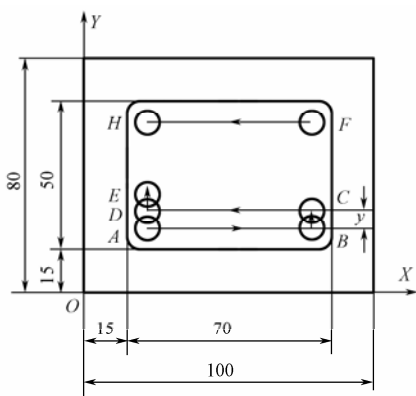
$$x_e=x_d=x_a=19.2; y_e=y_d+y=25.2+6=31.2$$

$$x_f=x_b=80.8; y_f=15+50-\Delta-d/2=15+50-0.2-4=60.8$$

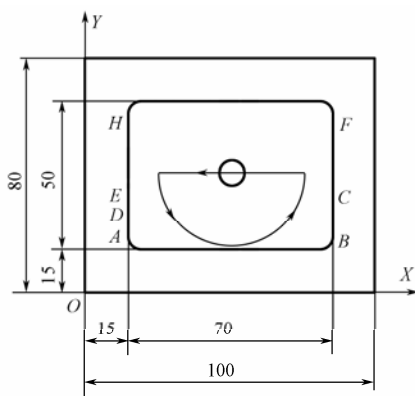
$$x_h=x_a=19.2;$$

$$y_h=y_c=60.8$$

即 $A(19.2, 19.2)$ 、 $B(80.8, 19.2)$ 、 $C(80.8, 25.2)$ 、 $D(19.2, 25.2)$ 、 $E(19.2, 31.2)$ 、 $F(80.8, 60.8)$ 、 $H(19.2, 60.8)$ 。



(a) 方腔粗加工路线



(b) 方腔精铣加工路线

图 33-1 走刀路线

四、任务实施（零件加工工艺分析与编程）

1. 工装

采用机用虎钳装夹的方法，底部用垫块垫起。

2. 刀具选择

刀具选择见表 33-2。



表 33-2 数控加工刀具卡片

产品名称或代号			×××		零件名称		腔槽座			零件图号		×××		
序号	刀具号		刀具规格名称		数量	加工表面			刀尖半径 R/ mm	刀尖方位 T		备注		
1	T01	φ100 端铣刀		1	粗铣上表面，留精铣余量 0.5mm				3					
					精铣上表面至要求尺寸									
2	T02	φ8 键槽铣刀		1	粗铣矩形腔									
3	T03	φ8 立铣刀		1	精铣矩形腔									
4	T04	φ5 键槽铣刀		1	粗铣封闭凹槽									
5	T05	φ5mm 立铣刀		1	半精铣封闭凹槽									
				1	精铣封闭凹槽									
编制			×××	审核	×××	批准		×××			共 页		第 页	

3. 制作加工工艺卡

盖板零件的加工工步及切削用量列于加工工艺卡中，见表 33-3。

表 33-3 加工工艺卡

单位 名称		×××		产品名称或代号		零件名称		零件图号	
				×××		腔槽座		×××	
工序号		程序编号		夹具名称		使用设备		车间	
001		×××		机用虎钳		数控铣床/加工中心		×××	
工 步 号	工步内容			刀具号	刀具规格 (mm)	主轴转速 <i>n</i> /(r/min)	进给速度 <i>f</i> /(mm/r)	背吃刀量 <i>a_p</i> /(mm)	备注
1	粗铣上表面，留精铣余量 0.5mm			T01		100	60	0.5	自动
	精铣上表面至要求尺寸			T01		150	80	0.5	
2	粗铣矩形腔			T02		500	60	5.0	自动
3	精铣矩形腔			T03		500	60	0.2	自动
4	粗铣封闭凹槽			T04		500	80	4	自动
5	半精铣封闭凹槽			T05		500	80	0.4	自动
	精铣封闭凹槽			T05		500	100	0.1	自动
编制		×××	审核	×××	批准	×××	年 月 日		共 页 第 页

4. 程序编制

粗、精铣上表面程序略，铣矩形槽及封闭凹槽数控加工程序清单见表 33-4。



表 33-4 盖板数控加工程序清单

O0033		
程序段号	程序内容	程序说明
N10	G90 G54 G00 X19.2 Y19.2 Z100.0 M03 S500;	主轴上安装 T02 刀具, 粗铣矩形腔
N11	G43 H02 Z3.0 M08;	
N12	G01 Z-5.0 F60;	下刀到槽深
N14	M98 P3301 L3;	调用子程序 O3301 共 3 次
N16	G91 X61.6;	继续粗铣矩形腔中余下的量
N18	G90 Y60.8;	到点 F
N20	X19.2;	到点 H
N22	G00 Z100.0 M09;	
N24	M05;	
N26	M00;	程序暂停后, 转成手动方式
N28	G90 G00 X50.0 Y40.0 M03 S500;	手动换 T03 刀具, 准备精铣矩形腔
N30	G43 H03 Z3.0 M08;	
N32	G01 Z-5.0 F60;	
N34	G41 X25.0 D03;	建立刀具半径左补偿, D03=4.0mm
N36	G03 X50.0 Y15.0 R25.0;	圆弧切入至矩形槽下轮廓对称点
N38	G01 X79.0;	精铣矩形腔 (逆时针)
N40	G03 X85.0 Y21.0 R6.0;	
N42	G01 Y59.0;	
N44	G03 X79.0 Y65.0 R6.0;	
N46	G01 X21.0;	
N48	G03 X15.0 Y59.0 R6.0;	
N50	G01 Y21.0;	
N52	G03 X21.0 Y15.0 R6.0;	
N54	G01 X50.0;	
N56	G03 X75.0 Y40.0 R25.0;	圆弧切出, 精铣结束
N58	G40 G01 X50.0 Y40.0;	取消刀具半径左补偿
N60	G00 Z100.0 M09;	
N62	M05;	
N64	M00;	程序暂停后, 转成手动方式
N66	D04 M03 S500 H04 F200;	手动换 T04 刀具, 粗铣封闭凹槽, D04=3.0mm
N68	M98 P3302;	调用子程序
N70	M05;	
N72	M00;	程序暂停后, 转换成手动方式
N74	M03 S500;	手动换 T05 刀具, 半精铣封闭凹槽的内轮廓
N76	D05 S500 H05 F80;	D05=2.6mm
N78	M98 P3302;	
N80	M00;	
N82	D05 H05 M98 P3303;	半精铣封闭凹槽的外轮廓
N84	M00;	程序暂停后, 测量实际精铣余量
N86	D06 H05 M98 P3302;	精铣封闭凹槽的内轮廓, D06=2.5mm



续表

N88	M00;	
N90	D06 H05 M98 P3302;	精铣封闭凹槽的外轮廓
N92	M05;	
N94	M30;	
	O3301	粗铣矩形腔子程序
N10	G91 X61.6;	到点 <i>B</i>
N12	Y6.0;	到点 <i>C</i>
N14	X-61.6;	到点 <i>D</i>
N16	Y6.0;	到点 <i>E</i>
N18	M99;	
	O3303	半精铣、精铣封闭凹槽外轮廓的子程序
N10	G54 X70.0 Y40.0 Z100.0 M03 S500;	
N12	G43 Z5.0 M08;	
N 14	G01 Z-9.0 F80;	
N16	G41 G01 Y45.0 F160;	
N18	G01 Y49.0;	
N20	G03 X59.0 Y60.0 R11.0;	
N22	G01 X50.0;	
N24	G03 X30.0 Y40.0 R20.0;	
N26	G01 Y31.0;	
N28	G03 X41.0 Y20.0 R11.0;	
N30	G01 X50.0;	
N32	G03 X70.0 Y40.0 R20.0;	
N34	G01 Y46.0;	
N36	G00 Z100.0;	
N38	G40 X0 Y0 M09;	
N40	M99;	
	O3302	半精铣、精铣封闭凹槽内轮廓的子程序
N10	G54 G90 G00 X64.0 Y55.0 Z100.0 M03 S500;	
N12	G43 Z5.0 M08;	
N14	G41 G01 Y41.0 F100;	
N16	Z-9.0;	
N18	G01 Y40.0;	
N20	G02 X50.0 Y26.0 R14.0;	
N22	G01 X41.0;	
N24	G02 X36.0 Y31.0 R5.0;	
N26	G01 Y40.0;	
N28	G02 X50.0 Y54.0 R14.0;	
N30	G01 X59.0;	
N32	G02 X64.0; Y49.0 R5.0	
N34	G01 Y40.5;	
N36	G00 Z100.0;	
N38	G40 X0 Y0 M09;	
N40	M99;	



五、任务学习手记（见表 33-5）

表 33-5 任务学习手记

学生姓名		第____组	组名	
同组人姓名				
任务学习与执行过程				
学习体会				
巩固练习				
个人自评	本人签名：_____			
小组评价	组长签名：_____			
教师评价	教师签名：_____			

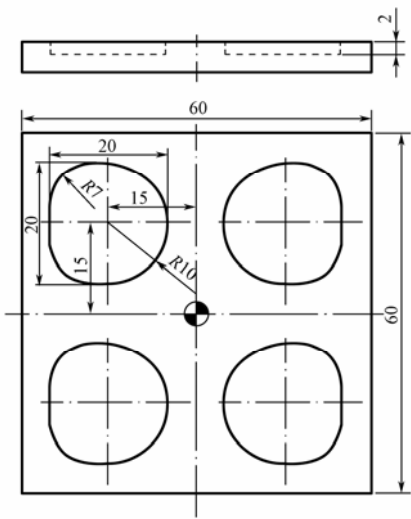


任务三十四 对称腔槽（面）数控加工程序的编制

一、项目任务书

对称腔槽（面）数控加工程序的编制项目任务书，见表 34-1。

表 34-1 项目任务书

情境名称	腔槽（面）数控加工程序的编制		
学习目标	1. 了解对称腔槽（面）的加工方法及编程方法 2. 能正确选择对称腔槽（面）的加工刀具及加工参数		
<div></div>			
零件名称	凹槽板	材料	45 钢
毛坯尺寸	80×120×15		
任务内容：制定凹槽板的加工工艺并编制其数控加工程序			
备注			

二、学习导读

当零件上存在关于某个坐标轴对称的加工内容时，可以使用镜像加工指令来编制加工程序。在一般情况下，镜像加工指令需要与子程序调用一起使用。

指令格式如下：

G51.1 X0;	//关于直线 $X=0$ 对称，即关于 Y 轴对称
G51.1 Y0;	//关于直线 $Y=0$ 对称，即关于 X 轴对称
G51.1 X0 Y0;	//关于点 $(0, 0)$ 对称，即关于编程原点对称
G50.1 X0;	//取消关于直线 $X=0$ 对称，即取消关于 Y 轴对称
G50.1 Y0;	//取消关于直线 $Y=0$ 对称，即取消关于 X 轴对称
G50.1 X0 Y0;	//取消关于点 $(0, 0)$ 对称，即取消关于编程原点对称



在程序关于 Y 轴对称的状态下，当程序中 X 坐标为 A 时，实际刀具运动轨迹的 X 坐标为 -A，而 Y 坐标不变。

在程序关于 X 轴对称的状态下，当程序中 Y 坐标为 B 时，实际刀具运动轨迹的 Y 坐标为 -B，而 X 坐标不变。

在程序关于原点对称的状态下，当程序中 X 坐标为 A、Y 坐标为 B 时，实际刀具运动轨迹的 X 坐标为 -A，而 Y 坐标为 -B。

【例 34-1】 试利用镜像功能编制如图 34-1 所示零件的数控铣削加工程序。

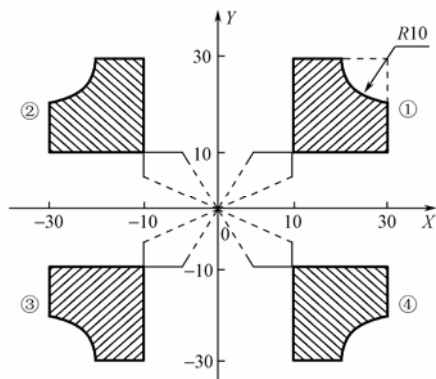


图 34-1 镜像功能应用图例

```

O0005;                                //主程序
N10 G92 X0 Y0 Z25;
N20 M03 S800;
N30 M98 P1005;                        //调子程序铣①图;
N40 G51 X0 Y0 I-1000 J1000;          //Y 轴镜像;
N50 M98 P1005;                        //调子程序铣②图;
N60 G51 X0 Y0 I-1000 J-1000;         //原点镜像;
N70 M98 P1005;                        //调子程序铣③图;;
N80 G51 X0 Y0 I1000 J-1000;          //X 轴镜像;
N90 M98 P1005;                        //调子程序铣④图;
N100 G50;
N110 M05;
N120 M30;
O1005;                                //子程序
N10 G41 G00 X10 Y4 D01;
N20 Y5;
N30 Z3;
N40 G01 Z-3 F100;
N50 Y30;
N60 X20;
N70 G03 X30 Y20 I10;

```



N80 G01 Y10;
N90 X5;
N100 G00 Z25;
N110 G40 X0 Y0;
N120 M99;

三、任务解析

由于任务表中的凹槽板具有对称性，故运用镜像加工指令进行编程。

加工工艺过程： $\phi 12$ 键槽铣刀铣第二象限凹槽→铣第一象限凹槽→铣第四象限凹槽→铣第三象限凹槽。

四、任务实施（零件加工工艺分析与编程）

1. 工装

采用机用虎钳装夹的方法，底部用垫块垫起。

2. 刀具选择

见表 34-2。

表 34-2 数控加工刀具卡片

产品名称或代号		×××		零件名称		凹槽板		零件图号	×××
序号	刀具号	刀具规格名称		数量	加工表面		刀尖半径 R/ mm	刀尖方位 <i>T</i>	备注
1	T01	$\phi 12\text{mm}$ 键槽铣刀		1	凹槽表面				
编制		×××	审核	×××	批准	×××		共 页	第 页

3. 制作加工工艺卡

凹槽板零件的加工工步及切削用量列于加工工艺卡中，见表 34-3。

表 34-3 加工工艺卡

单位名称	×××		产品名称或代号		零件名称		零件图号	
			×××		凹槽板		×××	
工序号	程序编号		夹具名称		使用设备		车间	
001	×××		机用虎钳		数控铣床/加工中心		×××	
工步号	工步内容		刀具号	刀具规格 (mm)	主轴转速 <i>n</i> /(r/min)	进给速度 <i>f</i> /(mm/r)	背吃刀量 <i>a_p</i> /(mm)	备注
1	铣第二象限凹槽		T01		1000	300		自动
2	铣第一象限凹槽		T01		1000	300		自动
3	铣第四象限凹槽		T01		1000	300		自动
4	铣第三象限凹槽		T01		1000	300		自动
编制	×××	审核	×××	批准	×××	年 月 日		共 页 第 页



4. 程序编制

凹槽板数控加工程序清单见表 34-4。

表 34-4 凹槽板数控加工程序清单

O0034		
程序段号	程序内容	程序说明
N010	M06 T01;	加工中心换刀，换 01 号刀
N020	M03 S1000;	
N030	G54 G00 X0 Y0 M08;	
N040	G43 G00 Z50 H03;	
N050	M98 P103;	加工第二象限凹模
N060	G51.1 X0;	以 Y 轴为对称轴，镜像加工
N070	M98 P103;	加工第一象限凹模
N080	G51.1 Y0;	以 X0, Y0 为对称点，镜像加工
N090	M98 P103;	加工第四象限凹模
N100	G50.1 X0;	取消 Y 轴镜像功能
N110	M98 P103;	加工第三象限凹模
N120	G50.1 Y0;	取消 X 轴镜像功能
N130	G00 Z150 M09;	
N140	M05;	
N150	M30;	程序结束
O3401		单个腔槽加工子程序
N10	G00 X-15 Y15;	
N20	G00 Z5;	
N30	G01 Z-2F100;	
N40	G41 G01 X-25 D03 F300;	
N50	G01 Y12;	
N60	G03 X-18 Y5 R7;	
N70	G01 X-15;	
N80	G03 X-15 Y25 R10;	
N90	G01 X-18;	
N100	G03 X-25 Y18 R7;	
N110	G01 Y15;	
N120	G40 G01 X-15;	
N130	G00 Z50;	
N140	M99;	子程序结束
参考设置：D03=6。		
注意：在本例中，由于使用了镜像功能，加工第二象限内的凹槽时用的是左补偿（顺铣），而加工第一象限内的凹槽时则变成了右补偿（逆铣），加工第四象限内的凹槽时用的是左补偿（顺铣），加工第三象限内的凹槽时用的是右补偿（逆铣）。由于切削方向不同，会带来加工表面质量的不同，因此在加工表面质量要求高的零件时，要慎用镜像功能。		



五、任务学习手记（见表 34-5）

表 34-5 任务学习手记

学生姓名		第____组	组名	
同组人姓名				
任务学习与执行过程				
学习体会				
巩固练习				
个人自评	本人签名：_____			
小组评价	组长签名：_____			
教师评价	教师签名：_____			



任务三十五 椭圆腔槽（面）数控加工程序的编制

一、项目任务书

椭圆腔槽（面）数控加工程序的编制项目任务书，见表 35-1。

表 35-1 项目任务书

情境名称	腔槽（面）数控加工程序的编制		
学习目标	1. 了解椭圆腔槽（面）的加工工艺及编程方法 2. 运用宏程序编制椭圆腔槽（面）的数控加工程序		
<div></div>			
零件名称	椭圆腔台	材料	45 钢
毛坯尺寸	80×120×15（毛坯外轮廓已加工至尺寸要求）		
任务内容：制定椭圆腔台的加工工艺并编制其数控加工程序			
学习指令	宏程序指令，子程序调用指令（G65），圆弧半径实偿指令（G41）		
备注			

二、学习导读

用户宏程序是以变量的组合，通过各种算术和逻辑运算、转移和循环等命令，而编制的一种可以灵活运用的程序，只要改变变量的值，即可完成不同的加工或操作。用户宏功能有 A、B 两类。



1. 变量

在常规的主程序和子程序内，总是将一个具体的数值赋给一个地址。为了使程序更具通用性，更加灵活，在宏程序中设置了变量，即将变量赋给一个地址。

(1) 变量的表示

变量可以用“#”号和跟随其后的变量序号来表示： $\#i$ ($i=1, 2, 3, \dots$)。

例如： $\#5$ ， $\#109$ ， $\#501$ 。

(2) 变量的引用

将跟随在一个地址后的数值用一个变量来代替，即引入了变量。

例如：对于 $F\#103$ ，若 $\#103=50$ ，则为 $F50$ ；

对于 $Z-\#110$ ，若 $\#110=100$ ，则 Z 为 -100 ；

对于 $G\#130$ ，若 $\#130=3$ ，则为 $G03$ 。

2. 宏指令G65

宏指令 G65 可以实现丰富的宏功能，包括算术运算、逻辑运算等处理功能。

一般形式：

G65 Hm P#i Q#j R#k;

其中 m——宏程序功能，数值范围为 01~99；

#i——运算结果存放处的变量名；

#j——被操作的第一个变量，也可以是一个常数；

#k——被操作的第二个变量，也可以是一个常数。

例如，当程序功能为加法运算时：

程序 P#100 Q#101 R#102..... 含义为 $\#100 = \#101 + \#102$

程序 P#100 Q-#101 R#102..... 含义为 $\#100 = -\#101 + \#102$

程序 P#100 Q#101 R15..... 含义为 $\#100 = \#101 + 15$

3. 宏功能指令

(1) 算术运算指令（见表 35-2）

表 35-2 算术运算指令

G 码	H 码	功 能	定 义
G65	H01	定义，替换	$\#i = \#j$
G65	H02	加	$\#i = \#j + \#k$
G65	H03	减	$\#i = \#j - \#k$
G65	H04	乘	$\#i = \#j \times \#k$
G65	H05	除	$\#i = \#j / \#k$
G65	H21	平方根	$\#i = \sqrt{\#j}$
G65	H22	绝对值	$\#i = \#j $



续表

G 码	H 码	功 能	定 义
G65	H23	求余	$\#i = \#j - \text{trunc}(\#j / \#k) \cdot \#k$
			Trunc: 丢弃小于 1 的分数部分
G65	H24	BCD 码→二进制码	$\#i = \text{BIN}(\#j)$
G65	H25	二进制码→BCD 码	$\#i = \text{BCD}(\#j)$
G65	H26	复合乘/除	$\#i = (\#i \times \#j) \div \#k$
G65	H27	复合平方根 1	$\#i = \sqrt{\#j^2 + \#k^2}$
G65	H28	复合平方根 2	$\#i = \sqrt{\#j^2 - \#k^2}$

① 变量的定义和替换（ $\#i = \#j$ ）

编程格式：

G65 H01 P#i Q#j;

例如：

G65 H01 P#101 Q1005; ($\#101 = 1005$)

G65 H01 P#101 Q-#112; ($\#101 = -\#112$)

② 加法（ $\#i = \#j + \#k$ ）

编程格式：

G65 H02 P#i Q#j R#k;

例如：

G65 H02 P#101 Q#102 R#103; ($\#101 = \#102 + \#103$)

③ 减法（ $\#i = \#j - \#k$ ）

编程格式：

G65 H03 P#i Q#j R#k;

例如：

G65 H03 P#101 Q#102 R#103; ($\#101 = \#102 - \#103$)

④ 乘法（ $\#i = \#j \times \#k$ ）

编程格式：

G65 H04 P#i Q#j R#k;

例如：

G65 H04 P#101 Q#102 R#103; ($\#101 = \#102 \times \#103$)

⑤ 除法（ $\#i = \#j / \#k$ ）



编程格式:

G65 H05 P#i Q#j R#k;

例如:

G65 H05 P#101 Q#102 R#103; (#101 = #102/#103)

⑥ 平方根 ($\#i = \sqrt{\#j}$)

编程格式:

G65 H21 P#i Q#j;

例如:

G65 H21 P#101 Q#102; (#101 = $\sqrt{\#102}$)

⑦ 绝对值 ($\#i = |\#j|$)

编程格式:

G65 H22 P#i Q#j;

例如:

G65 H22 P#101 Q#102; (#101 = $|\#102|$)

⑧ 复合平方根 ($1 \#i = \sqrt{\#j^2 + \#k^2}$)

编程格式:

G65 H27 P#i Q#j R#k;

例如:

G65 H27 P#101 Q#102 R#103; (#101 = $\sqrt{\#102^2 + \#103^2}$)

⑨ 复合平方根 ($2 \#i = \sqrt{\#j^2 - \#k^2}$)

编程格式:

G65 H28 P#i Q#j R#k;

例如:

G65 H28 P#101 Q#102 R#103; (#101 = $\sqrt{\#102^2 - \#103^2}$)

(2) 逻辑运算指令 (见表 35-3)

表 35-3 逻辑运算指令

G 码	H 码	功 能	定 义
G65	H11	逻辑“或”	$\#i = \#j \cdot \text{OR} \cdot \#k$
G65	H12	逻辑“与”	$\#i = \#j \cdot \text{AND} \cdot \#k$
G65	H13	异或	$\#i = \#j \cdot \text{XOR} \cdot \#k$

① 逻辑或 ($\#i = \#j \text{ OR } \#k$)



编程格式：

G65 H11 P#i Q#j R#k;

例如：

G65 H11 P#101 Q#102 R#103; (#101 = #102 OR #103)

② 逻辑与（#i=#j AND #k）

编程格式：

G65 H12 P#i Q#j R#k;

例如：

G65 H12 P#101 Q#102 R#103; (#101 = #102 AND #103)

（3）三角函数指令（见表 35-4）

表 35-4 三角函数指令

G 码	H 码	功 能	定 义
G65	H31	正弦	$\#i = \#j \cdot \sin(\#k)$
G65	H32	余弦	$\#i = \#j \cdot \cos(\#k)$
G65	H33	正切	$\#i = \#j \cdot \tan(\#k)$
G65	H34	反正切	$\#i = \text{ATAN}(\#j/\#k)$

① 正弦函数（#i=#j×SIN(#k)）

编程格式：

G65 H31 P#i Q#j R#k;（单位：度）

例如：

G65 H31 P#101 Q#102 R#103; (#101 = #102×SIN(#103))

② 余弦函数（#i=#j×COS(#k)）

编程格式：

G65 H32 P#i Q#j R#k;（单位：度）

例如：

G65 H32 P#101 Q#102 R#103; (#101 = #102×COS(#103))

③ 正切函数（#i=#j×TAN#k）

编程格式：

G65 H33 P#i Q#j R#k;（单位：度）

例如：



G65 H33 P#101 Q#102 R#103; (#101 = #102×TAN(#103))

④ 反正切 (#i=ATAN(#j/#k))

编程格式:

G65 H34 P#i Q#j R#k; (单位: 度, 0° ≤ #j ≤ 360°)

例如:

G65 H34 P#101 Q#102 R#103; (#101 = ATAN(#102/#103))

(4) 控制类指令 (见表 35-5)

表 35-5 控制类指令

G 码	H 码	功 能	定 义
G65	H80	无条件转移	GO TO n
G65	H81	条件转移 1	IF #j=#k, GOTOn
G65	H82	条件转移 2	IF #j≠#k, GOTOn
G65	H83	条件转移 3	IF #j>#k, GOTOn
G65	H84	条件转移 4	IF #j<#k, GOTOn
G65	H85	条件转移 5	IF #j≥#k, GOTOn
G65	H86	条件转移 6	IF #j≤#k, GOTOn
G65	H99	产生 PS 报警	PS 报警号 500+n 出现

① 无条件转移

编程格式:

G65 H80 Pn; (n 为程序段号)

例如:

G65 H80 P120; (转移到 N120)

② 条件转移 (1 #j EQ #k(=))

编程格式:

G65 H81 Pn Q#j R#k; (n 为程序段号)

例如:

G65 H81 P1000 Q#101 R#102;

当#101=#102 时, 转移到 N1000 程序段; 若#101≠ #102, 则执行下一程序段。

③ 条件转移 (2 #j NE #k(≠))

编程格式:

G65 H82 Pn Q#j R#k; (n 为程序段号)



例如：

```
G65 H82 P1000 Q#101 R#102;
```

当 $\#101 \neq \#102$ 时，转移到 N1000 程序段；若 $\#101 = \#102$ ，则执行下一程序段。

④ 条件转移（3 #j GT #k (>))

编程格式：

```
G65 H83 Pn Q#j R#k （n 为程序段号）;
```

例如：

```
G65 H83 P1000 Q#101 R#102;
```

当 $\#101 > \#102$ 时，转移到 N1000 程序段；若 $\#101 \leq \#102$ ，则执行下一程序段。

⑤ 条件转移（4 #j LT #k (<))

编程格式：

```
G65 H84 Pn Q#j R#k; （n 为程序段号）
```

例如：

```
G65 H84 P1000 Q#101 R#102;
```

当 $\#101 < \#102$ 时，转移到 N1000；若 $\#101 \geq \#102$ ，则执行下一程序段。

⑥ 条件转移（5 #j GE #k (\geq))

编程格式：

```
G65 H85 Pn Q#j R#k; （n 为程序段号）
```

例如：

```
G65 H85 P1000 Q#101 R#102;
```

当 $\#101 \geq \#102$ 时，转移到 N1000；若 $\#101 < \#102$ ，则执行下一程序段。

⑦ 条件转移（6 #j LE #k (\leq))

编程格式：

```
G65 H86 Pn Q#j R#k; （n 为程序段号）
```

例如：

```
G65 H86 P1000 Q#101 R#102;
```

当 $\#101 \leq \#102$ 时，转移到 N1000；若 $\#101 > \#102$ ，则执行下一程序段。

（5）注意事项

为保证宏程序的正常运行，在使用宏程序的过程中应注意以下几点：

① 由 G65 规定的 H 码不影响偏移量的任何选择；



- ② 如果用于各算术运算的 Q 或 R 未被指定, 则作为 0 处理;
- ③ 在分支转移目标地址中, 如果序号为正值, 则检索过程先向大程序号查找; 如果序号为负值, 则检索过程先向小程序号查找;
- ④ 转移目标序号可以是变量。

(6) 用户宏程序应用举例

例 35-1 用宏程序和子程序功能顺序加工圆周等分孔。设圆心在 O 点, 它在机床坐标系中的坐标为 (X_0, Y_0) , 在半径为 r 的圆周上均匀地钻几个等分孔, 起始角度为 α , 孔数为 n 。以零件上表面为 Z 向零点, 如图 35-1 所示。

使用以下保持型变量:

#502: 半径 r ;

#503: 起始角度 α ;

#504: 孔数 n , 当 $n > 0$ 时, 按逆时针方向加工, 当 $n < 0$ 时, 按顺时针方向加工;

#505: 孔底 Z 坐标值;

#506: R 平面 Z 坐标值;

#507: F 进给量。

使用以下变量进行操作运算:

#100: 表示第 i 步钻第 i 孔的计数器;

#101: 计数器的最终值 (为 n 的绝对值);

#102: 第 i 个孔的角度位置 θ_i 的值;

#103: 第 i 个孔的 X 坐标值;

#104: 第 i 个孔的 Y 坐标值;

用用户宏程序编制的钻孔子程序如下:

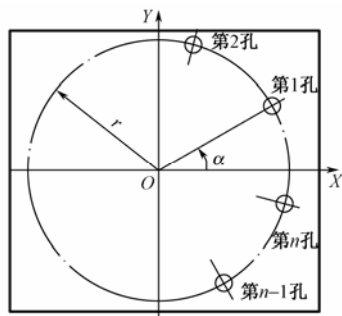


图 35-1 等分孔计算方法

```
O9010
N110 G65 H01 P#100 Q0;           // #100 = 0
N120 G65 H22 P#101 Q#504;         // #101 = |#504|
N130 G65 H04 P#102 Q#100 R360;    // #102 = #100 × 360°
N140 G65 H05 P#102 Q#102 R#504;   // #102 = #102 / #504
N150 G65 H02 P#102 Q#503 R#102;   // #102 = #503 + #102 当前孔角度位置  $\theta_i = \alpha + (360^\circ \times i) / n$ 
N160 G65 H32 P#103 Q#502 R#102;   // #103 = #502 × COS(#102) 当前孔的 X 坐标
N170 G65 H31 P#104 Q#502 R#102;   // #104 = #502 × SIN(#102) 当前孔的 Y 坐标
N180 G90 G00 X#103 Y#104;         // 定位到当前孔 (返回开始平面)
N190 G00 Z#506;                   // 快速进到 R 平面
N200 G01 Z#505 F#507;             // 加工当前孔
N210 G00 Z#506;                   // 快速退到 R 平面
N220 G65 H02 P#100 Q#100 R1;      // #100 = #100 + 1 孔计数
N230 G65 H84 P-130 Q#100 R#101;   // 当 #100 < #101 时, 向上返回到 130 程序段
N240 M99;                         // 子程序结束
```

调用上述子程序的主程序如下:



O0010

N10 G54 G90 G00 X0 Y0 Z20;

//进入加工坐标系

N20 M98 P9010;

//调用钻孔子程序，加工圆周等分孔

N30 Z20;

//抬刀

N40 G00 G90 X0 Y0;

//返回加工坐标系零点

N50 M30;

//程序结束

设置 G54: X=-400, Y=-100, Z=-50。

变量#500~#507 可在程序中赋值，也可由 MDI 方式设定。

4. B类宏程序

B 类宏程序与 A 类宏程序有许多相似之处。

宏程序的定义：由用户编写的专用程序，它类似于子程序，可用规定的指令作为代号，以便调用。宏程序的代称为宏指令。

宏程序的特点：宏程序可使用变量，用变量执行相应操作；实际变量值可由宏程序指令赋给变量。

(1) 宏程序的简单调用格式

宏程序的简单调用是指在主程序中，宏程序可以被单个程序段单次调用。

调用指令格式：

G65 P (宏程序号) L (重复次数) (变量分配)

其中 G65——宏程序调用指令；

P (宏程序号)——被调用的宏程序代号；

L (重复次数)——宏程序重复运行的次数，当重复次数为 1 时可省略不写；

(变量分配)——为宏程序中使用的变量赋值。

宏程序与子程序相同的一点是，一个宏程序可被另一个宏程序调用，最多可调用 4 重。

(2) 宏程序的编写格式

宏程序的编写格式与子程序相同。其格式为：

O ~ (0001 ~ 8999 为宏程序号) //程序名

N10 //指令

⋮

N ~ M99 //宏程序结束

在上述宏程序内容中，除通常使用的编程指令外，还可使用变量、算术运算指令及其他控制指令。变量值在宏程序调用指令中赋给。

(3) 变量

1) 变量的分配类型

变量中的文字变量与数字序号变量之间有如表 35-6 所示关系。



表 35-6 文字变量与数字序号变量之间的关系

A #1	I #4	T #20
B #2	J #5	U #21
C #3	K #6	V #22
D #7	M #13	W #23
E #8	Q #17	X #24
F #9	R #18	Y #25
H #11	S #19	Z #26

在表 35-6 中，文字变量为除 G、L、N、O、P 以外的英文字母，一般可不按字母顺序排列，但 I、J、K 例外；#1～#26 为数字序号变量。

例如：G65 P1000 A1.0 B2.0 I3.0

为宏程序的简单调用格式，其含义为：调用宏程序号为 1000 的宏程序运行一次，并为宏程序中的变量赋值，其中#1 为 1.0，#2 为 2.0，#4 为 3.0。

2) 变量的级别

① 本级变量#1～#33

作用于宏程序某一级中的变量称为本级变量，即这一变量在同一程序级中调用时含义相同，若在另一级程序（如子程序）中使用，则意义不同。本级变量主要用于变量间的相互传递，初始状态下未赋值的本级变量为空白变量。

② 通用变量#100～#144，#500～#531

可在各级宏程序中被共同使用的变量称为通用变量，即这一变量在不同程序级中调用时含义相同。因此，一个宏程序中经计算得到的一个通用变量的数值，可以被另一个宏程序应用。

(4) 算术运算指令

变量之间进行运算的通常表达形式是： $\#i = (\text{表达式})$ 。

① 变量的定义和替换

$\#i = \#j$

② 加减运算

$\#i = \#j + \#k$ //加

$\#i = \#j - \#k$ //减

③ 乘除运算

$\#i = \#j \times \#k$ //乘

$\#i = \#j / \#k$ //除

④ 函数运算

$\#i = \text{SIN} [\#j]$ //正弦函数（单位为度）

$\#i = \text{COS} [\#j]$ //余弦函数（单位为度）

$\#i = \text{TANN} [\#j]$ //正切函数（单位为度）

$\#i = \text{ATANN} [\#j] / \#k$ //反正切函数（单位为度）

$\#i = \text{SQRT} [\#j]$ //平方根

$\#i = \text{ABS} [\#j]$ //取绝对值



⑤ 运算的组合

以上算术运算和函数运算可以组合在一起使用，运算的先后顺序是：函数运算、乘除运算、加减运算。

⑥ 括号的应用

表达式中括号的运算将优先进行。连同函数中使用的括号在内，括号在表达式中最多可用 5 层。

(5) 控制指令

1) 条件转移

编程格式：IF [条件表达式] GOTO n

以上程序段的含义为：

① 如果条件表达式的条件得以满足，则转而执行程序中程序号为 n 的相应操作，程序段号 n 可以由变量或表达式替代；

② 如果表达式中的条件未满足，则顺序执行下一段程序；

③ 如果程序作无条件转移，则条件部分可以被省略。

④ 表达式可按如下书写：

#j EQ #k	表示 =
#j NE #k	表示 ≠
#j GT #k	表示 >
#j LT #k	表示 <
#j GE #k	表示 ≥
#j LE #k	表示 ≤

2) 重复执行

编程格式：

```
WHILE [条件表达式] DO m (m = 1, 2, 3)
:
END m
```

上述“WHILE…END m”程序的含义为：

① 条件表达式满足时，程序段 DO m 至 END m 即重复执行；

② 条件表达式不满足时，程序转到 END m 后处执行；

③ 如果 WHILE [条件表达式] 部分被省略，则程序段 DO m 至 END m 之间的部分将一直重复执行。

注意：① WHILE DO m 和 END m 必须成对使用；

② DO 语句允许有 3 层嵌套，即

```
DO 1
DO 2
DO 3
END 3
END 2
END 1
```



③ DO 语句范围不允许交叉, 即如下语句是错误的:

```
DO 1
DO 2
END 1
END 2
```

例 35-2 如图 35-2 所示圆环点阵孔群中各孔的加工, 我们曾经用 A 类宏程序解决过, 这里再试用 B 类宏程序方法来解决。

宏程序中将用到下列变量:

#1——第一个孔的起始角度 A , 在主程序中用对应的文字变量 A 赋值;

#3——孔加工固定循环中 R 平面值 C , 在主程序中用对应的文字变量 C 赋值;

#9——孔加工的进给量值 F , 在主程序中用对应的文字变量 F 赋值;

#11——要加工孔的孔数 H , 在主程序中用对应的文字变量 H 赋值;

#18——加工孔所处的圆环半径值 r , 在主程序中用对应的文字变量 R 赋值;

#26——孔深坐标值 Z , 在主程序中用对应的文字变量 Z 赋值;

#30——基准点, 即圆环中心的 X 坐标值 XO ;

#31——基准点, 即圆环中心的 Y 坐标值 YO ;

#32——当前加工孔的序号 i ;

#33——当前加工第 i 孔的角度;

#100——已加工孔的数量;

#101——当前加工孔的 X 坐标值, 初值设置为圆环中心的 X 坐标值 XO ;

#102——当前加工孔的 Y 坐标值, 初值设置为圆环中心的 Y 坐标值 YO 。

用户宏程序编写如下:

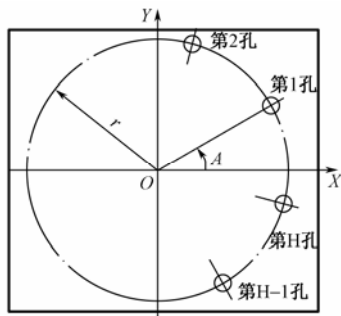


图 35-2 圆环点阵孔群的加工

```
O8000
N8010 #30=#101; //基准点保存
N8020 #31=#102; //基准点保存
N8030 #32=1; //计数值置 1
N8040 WHILE [#32 LE ABS[#11]] DO1; //进入孔加工循环体
N8050 #33=#1+360×[#32 - 1]/#11; //计算第 i 孔的角度
N8060 #101 = #30 + #18×COS[#33]; //计算第 i 孔的 X 坐标值
N8070 #102 = #31 + #18×SIN[#33]; //计算第 i 孔的 Y 坐标值
N8080 G90 G81 G98 X#101 Y#102 Z#26 R#3 F#9; //钻削第 i 孔
N8090 #32 = #32 + 1; //计数器对孔序号 i 计数累加
N8100 #100 = #100 + 1; //计算已加工孔数
N8110 END1; //孔加工循环体结束
```



N8120 #101=#30; //返回 X 坐标初值 XO

N8130 #102=#31; //返回 Y 坐标初值 YO

M99; //宏程序结束

在主程序中调用上述宏程序的调用格式为：

G65 P8000 A~ C~ F~ H~ R~ Z~

上述程序段中各文字变量后的值均应按零件图样中给定的值来赋值。

三、任务解析

由于椭圆的编程节点计算较困难，故应用宏程序对本任务中椭圆轮廓进行编程。加工工艺路线：装夹，找正，对刀→ $\phi 20$ 键槽铣刀以与椭圆相仿的运动轨迹铣削椭圆腔槽的中心区域→ $\phi 16$ 立铣刀精铣椭圆内轮廓面。

四、任务实施（零件加工工艺分析与编程）

1. 工装

采用机用虎钳装夹的方法，底部用垫块垫起。

2. 刀具选择

椭圆腔台零件加工所选用刀具见表 35-7。

表 35-7 数控加工刀具卡片

产品名称或代号		×××		零件名称		椭圆腔台		零件图号	×××
序号	刀具号	刀具规格名称		数量	加工表面		刀尖半径 R/ mm	刀尖方位 T	备注
1	T01	$\phi 20$ 键槽铣刀		1	椭圆腔槽底面				
2	T02	$\phi 16$ 立铣刀		1	椭圆腔槽内轮廓面				
编制		×××	审核	×××	批准	×××		共 页	第 页

3. 制作加工工艺卡

椭圆腔台零件的加工工步及切削用量列于加工工艺卡中，见表 35-8。

表 35-8 加工工艺卡

单位名称	×××				产品名称或代号		零件名称		零件图号	
					×××		椭圆腔台		×××	
工序号	程序编号				夹具名称		使用设备		车间	
001	×××				机用虎钳		数控铣床/加工中心		×××	
工步号	工步内容				刀具号	刀具规格 (mm)	主轴转速 n/(r/min)	进给速度 f/(mm/r)	背吃刀量 a _p /(mm)	备注
1	装夹，找正，对刀									手动
2	粗铣椭圆腔槽的中心区域				T01	φ20 键槽铣刀	400	80		自动
3	精铣椭圆内轮廓面				T02	φ16 立铣刀	600	100	0.3	自动
编制	×××	审核	×××	批准	×××	年 月 日		共 页	第 页	



4. 程序编制

椭圆腔台零件数控加工程序清单见表 35-9。

表 35-9 椭圆腔台零件数控加工程序清单

O0035		
程序段号	程序内容	程序说明
N10	M06 T01;	加工中心自动换 T01 号刀, $\phi 20$ 立铣刀粗加工椭圆腔槽的中心区域
N12	G54 G00 X0 Y0 M03 S400;	调用 G54 坐标系
N14	G43 G00 Z50 H01 M08;	建立 T01 号刀具长度补偿
N16	G00 Z5;	快速下刀至 Z5 处
N18	G01 Z-6.03 F120;	工进至 Z-6.03 处
N20	G41 G01 X10 D01 F80;	建立刀具半径左补偿, D01=28mm
N22	G65 P3501;	调用子程序 O3501
N24	G40 G01 X5;	取消刀具半径补偿功能
N26	G41 G01 X30 D02 F120;	建立刀具半径左补偿, D02=10.3 mm
N28	G65 P3501;	调用子程序 O3501
N30	G40 G01 X35;	取消刀具半径补偿功能
N32	G01 Z5 M09;	
N34	G00 G49 Z100;	
N36	M05	
N38	M6 T02;	加工中心自动换 T02 号刀, $\phi 16$ 立铣刀精加工椭圆内轮廓面
N40	G54 G00 X30 M03 S600;	调用 G54 坐标系
N42	G43 G00 Z50 H02 M08;	建立 T01 号刀具长度补偿
N44	G00 Z5;	快速下刀至 Z5 处
N46	G01 Z-6.03 F120;	工进至 Z-6.03 处
N48	G41 G01 X39 D03 F100;	建立刀具半径左补偿, D03=7.97mm
N50	G65 P3501;	调用子程序 O3501
N52	G40G01 X39;	
N54	G01 Z5 M09;	
N56	G00 G49 Z100	
N58	M05;	
N60	M30;	
O3501	椭圆轮廓面加工子程序	
N10	#101=50;	设置椭圆长半轴半径
N20	#102=30;	设置椭圆短半轴半径
N30	#103=0	设置椭圆角度
N40	#104=0	X 坐标
N50	#105=0	Y 坐标
N60	IF[#103 GT 360] GOTO 120;	当角度大于 360° 时转至 N120, 跳出循环
N70	#104=#101 • COS [#103];	计算 X 坐标
N80	#105=#102 • SIN [#103];	计算 Y 坐标
N90	G01 X#104 Y#105;	切削进给
N100	#103=#103+2;	角度值+2→角度值
N110	GOTO 60;	返回至 N60, 继续循环
N120	M99;	子程序结束



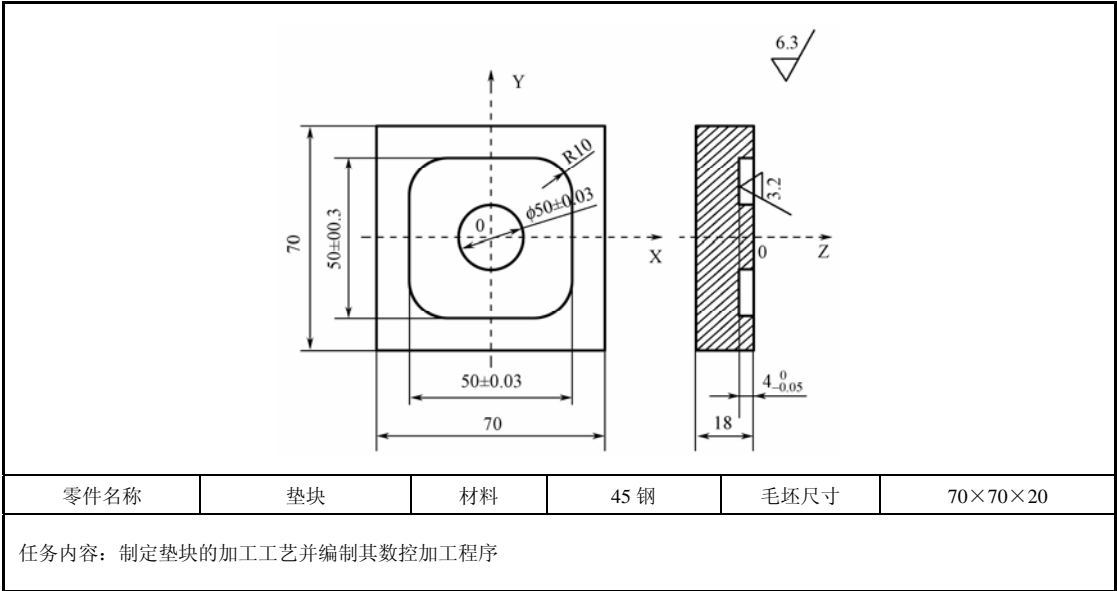
五、任务学习手记（见表 35-10）

表 35-10 任务学习手记

学生姓名		第____组	组名	
同组人姓名				
任务学习与执行过程				
学习体会				
巩固练习				
个人自评	本人签名：_____			
小组评价	组长签名：_____			
教师评价	教师签名：_____			



拓展训练任务



数控电火花线切割编程模块

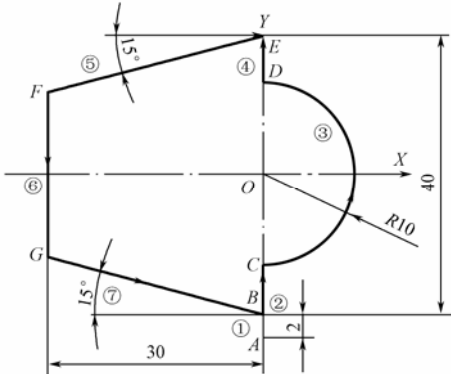
情境七 模具轮廓（面）数控电火花线切割加工程序的编制

任务三十六 凸模轮廓（面）数控线切割加工程序的编制

一、项目任务书

凸模轮廓（面）数控线切割加工程序的编制项目任务书，见表 36-1。

表 36-1 项目任务书

情境名称	模具数控电火花线切割加工程序的编制				
学习目标	掌握凸模数控电火花线切割编程技巧与方法				
<div></div>					
零件名称	凸模	材料	45 钢	毛坯尺寸	60×60×30（最小）
任务内容：制定凸模的加工工艺并编制其数控电火花线切割加工程序					
学习指令：直线插补指令（G01），电极丝右偏指令（G42），顺圆插补指令（G02）					
备注					

二、学习导读

数控电火花线切割机床利用电蚀加工原理，采用金属导线作为工具电极切割工件，以满足加工要求。机床通过数字控制系统的控制，可按加工要求，自动切割任意角度的直线和圆弧。



线切割机床采用细金属丝作为工具电极，工件和金属丝各作为一极通上脉冲电压，当金属丝距工件间隙达到一定距离后，产生火花放电，使金属局部气化而除去金属材料。金属丝采用钼丝或铜丝。根据金属丝行走速度的快慢分为快走丝线切割机和慢走丝线切割机。高速线专丝加工原理示意图如图 36-1 所示。

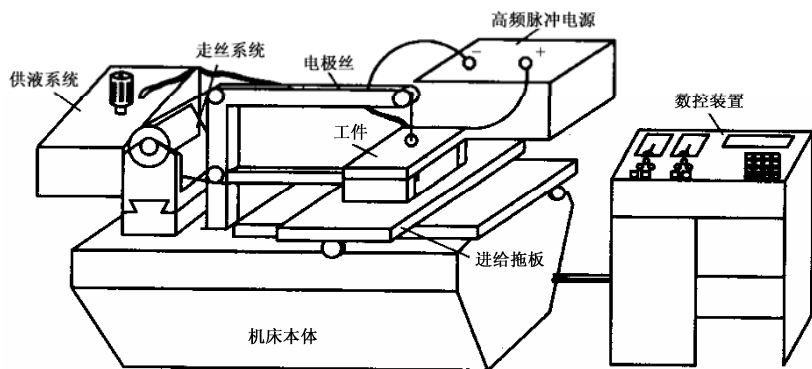


图 36-1 高速线走丝加工原理示意图

数控电火花线切割加工主要适用于切割淬火钢、硬质合金等金属材料，特别适用于一般金属切削机床难以加工的细缝槽或形状复杂的零件，在模具行业的应用尤为广泛。

高速走丝线切割机床的主要技术性能要求指标见表 36-2。

表 36-2 高速走丝线切割机床的主要技术性能要求指标

指标项目	DK7725EJ	HCKX012625
控制方式	微机、编程、控制一体	微机、编程、控制一体
控制代码格式	3B.250	250
控制台控制精度	± 0.001	± 0.001
加工精度	± 0.01	± 0.01
切割 $\phi 20\text{mm}$ 圆的椭圆度/mm	< 0.01	< 0.01
工作台的行程/mm	320×250	320×250
加工工件的最大厚度	300	200
锥度加工范围	$\pm 6^\circ / 100\text{mm}$	$\pm 6^\circ / 50\text{mm}$
加工工件表面粗糙度	$R_a \leq 5\mu\text{m}$	$R_a \leq 5\mu\text{m}$
最大加工速度/ (mm^2/min)	740	≥ 80
可用电极丝直径范围/mm	0.12~0.25	0.12~0.25

数控线切割机床常用 3B 程序和国标通用 ISO 代码程序，我国在 2003 年以后生产的数控线切割机床大多采用 ISO 代码格式（及 G 代码），以下主要介绍 ISO 代码的指令格式及手工编程方法。

1. 分析零件图纸及工艺处理

这一步骤的内容包括：对零件图纸进行分析，以明确加工要求；选择合适的加工路径和偏移量等。



2. 工艺处理注意事项

(1) 工具夹具的设计和选择。工具夹具应可以反复使用，所以夹具应便于安装、找正和定位等。

(2) 正确选择穿丝孔和进刀线、退刀线。穿丝孔是电极相对工件运动的起点，同时也是程序执行的起点，故也是程序原点。穿丝孔应选在容易找正并在加工过程中便于检查的位置。为了保证加工精度，穿丝孔的位置应设在工件上，一般为基准点。进刀线和退刀线的选择同样也应注意。

(3) 确定合理的偏移量。在加工凸模、凹模时，对精度要求较高，所以必须考虑钼丝放电间隙的影响。偏移量应根据钼丝直径及机床参数来确定。

(4) 选择电极丝。电极丝相当于切削加工中的刀具。电极丝应具有良好的导电性和抗电蚀性，抗拉强度高、材质均匀。常用电极丝有钼丝、钨丝、黄铜丝和包芯丝等。钨丝抗拉强度高，直径在 $0.03\sim 0.1\text{mm}$ 的范围内，一般用于各种窄缝的精加工，但价格昂贵。黄铜丝适合于慢速加工，加工表面粗糙度和平直度较好，蚀屑附着少，但抗拉强度差，损耗大，直径在 $0.1\sim 0.3\text{mm}$ 的范围内，一般用于慢速单向走丝加工。钼丝抗拉强度高，适于快速走丝加工，所以我国快速走丝机床大都选用钼丝作电极丝，其直径在 $0.08\sim 0.2\text{mm}$ 的范围内。

电极丝直径应根据切缝宽窄、工件厚度和拐角尺寸来选择。加工带尖角、窄缝的小型模具时宜选用较细的电极丝；加工大厚度工件或大电流切割时应选较粗的电极丝。

电极丝的主要类型、规格如下：

- 钼丝直径： $0.08\sim 0.2\text{mm}$ ；
- 钨丝直径： $0.03\sim 0.1\text{mm}$ ；
- 黄铜丝直径： $0.1\sim 0.3\text{mm}$ ；
- 包芯丝直径： $0.1\sim 0.3\text{mm}$ 。

3. 数学处理

在完成工艺处理的工作后，需根据零件的几何尺寸计算运动轨迹，即计算零件的轮廓相邻几何交点或切点的坐标值，得出几何元素的起点、终点及圆弧的圆心坐标值等。

4. 编写零件加工程序清单，制作控制程序

在控制软件程序的编程窗口下，用 ISO 代码编程，或用 APT 自动编程制作一个程序。较复杂的程序一般采用 APT 自动编程，或用 CAD 生成 DXF 文件，再由 APT 自动编程导入并转换成切割文件。

5. 程序校验

编写完的加工程序一般要经过校验方能用于正式加工。可通过系统提供画图校验、模拟运行等。画图校验主要验证程序语法，画出图形验证加工零件是否正确，空运行可验证程序的实际加工情况。

一个数控系统的零件程序就是一组被送到数控系统中的指令和数据。一个程序是由遵循一定结构、句法和格式（或规则）的语句和命令所组成的。



下面以 HCKX320 为例来说明 ISO 代码的含义及编程使用方法。

6. 程序格式

(1) 词

一个程序由许多指令语句组成，每个指令语句又由若干个词组成，词包括预备功能、进给功能、辅助功能等。词的组成结构如下：

词=地址+代码和数据

(2) 地址

地址用字母表示，字母规定代码后面数据的含义等，其意义见表 36-3。

表 36-3 地址字母的意义

地 址	意 义
G	预备功能
X 、 Y 、 U 、 V	坐标移动的规定
Z 、 J	圆心坐标的规定（增量坐标指标）
D	偏置量和补偿值的规定
A	锥度的规定
C	加工条件的规定
M	辅助功能
H	导轮与工件之间参数的规定

(3) 代码和数据

代码和数据的输入格式如下。

① G（预备功能）：在预备功能中，G 后输入的数据最多可以为两位，即 00~99，如 G00 或 G97。

② X、Y、U、V（坐标移动的规定）：X、Y 后的输入数据在 $-9999999\sim+9999999\mu\text{m}$ 范围内有效，U、V 后的输入数据在 $-999999\sim+999999\mu\text{m}$ 范围内有效，如果是正号则可省略，如 X1000 或 X1.0

③ I、J（圆心坐标的规定）：I、J 后的数据为圆心相对于起点的坐标增量。

④ D（偏置量和补偿值的规定）：D 后的数据在 $0\sim+999999\mu\text{m}$ 范围内有效。

⑤ A（锥度的规定）：A 后的数据在 $\pm 1\sim 9999.999$ 范围内有效。最小单位为 0.001。

⑥ C（加工条件的规定）：用两位数格式规定加工条件，共 100 个，即 C0~C99。

⑦ M（辅助功能）：用两位数输入格式规定机床加工程序的部分开关。

⑧ H（机床参数规定）：切割锥度时必须给出的机床参数。

⑨ H 工作厚度：输入数值在 $0\sim+999999\mu\text{m}$ 范围内有效。

(4) 语句格式

指令+地址+符号+绝对值或增量值

例如，

G01 X1000 Y1000;



7. 代码说明

MD22EDW 快走丝线切割系统常用指令见表 36-4。

表 36-4 MD22EDW 快走丝线切割系统常用指令

代 码	意 义	代 码	意 义
G00	快速定位	G50	消除锥度
G01	直线插补	G51	锥度左偏
G02	顺圆插补	G52	锥度右偏
G03	逆圆插补	G54~G59	工件坐标系设定
G20H	程序面到上轮距离	G90	绝对坐标指令
G21	工作厚度	G91	相对坐标指令
G22H	程序面到上轮距离	G92	坐标起点设定指令
G80	接触感知指令	M01	程序暂停
G82	半程移动指令	M02	程序结束
G83	找正中心指令	M05	接触感知解除
G84	校正中心指令	M06	子程序调用
G40	线径补偿取消	M07	调用子程序结束
G41	左偏指令		
G42	右偏指令		

8. 线径补偿

线径补偿就是用电极丝直径的一半（半径）表示电极路径的偏移。为了使具有一丝径的电极丝按理论给定的轮廓尺寸加工时得到一个与之相等的形状和尺寸，数控系统电极丝实际走过的轨迹加大或缩小一个补偿值，以弥补丝径和放电间隙尺寸的影响。其大小为 $D= \text{丝半径}+a$ （放电间隙）。

如图 36-2 所示为补偿指令 G41 和 G42 的区别。

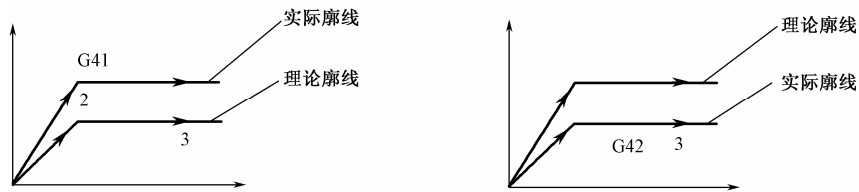


图 36-2 补偿指令 G41 和 G42 的区别

程序段常为：

```
G90X _ Y _
G41(G42) D _
G01X _ Y _
G01X _ Y _
⋮
G40X _ Y _
M02 _ Y _
```



其中，D 后的数据为偏移量数据。

其他指令的格式及用法与加工中心或数控机床的基本相同。

三、任务解析

如任务书中零件图所示，按图中箭头所示加工轨迹方向，考虑线径补偿，以便对坐标编程方式进行编程。

(1) 确定加工路线。根据图示零件的形状和尺寸，编程原点选在 $R10$ 圆弧圆心 O 处，进刀点选在零件下尖角正下方 A 点处，并延顺时针方向切削。

(2) 分别计算各关键点坐标。

$A(0, -22)$; $B(0, -20)$; $C(0, -10)$; $D(0, 10)$; $E(0, 20)$; $F(30, 8.04)$; $G(30, -8.04)$ 。

有公差尺寸的编程计算方法：由于零件的实际尺寸大部分应在公差带的中值附近，因此，对标注有公差的尺寸，应采用中差尺寸编程。中差尺寸的计算公式为：

$$\text{中差尺寸} = \text{基本尺寸} + (\text{上偏差} - \text{下偏差}) / 2$$

例如， $40_{-0.056}^0$ 编程尺寸为 $40 + (0 - 0.056) / 2 = 39.972\text{mm}$

四、任务实施（零件加工工艺分析与编程）

1. 工装

采用螺钉压板固定。

2. 切割丝的选择

钼丝，直径为 0.18mm 。

3. 程序编制

凸模数控线切割加工程序清单见表 36-5。

表 36-5 凸模数控加工程序清单

O0001		
程序段号	程序内容	程序说明
N01	G92 X0.0 Y22.0;	坐标设在 O 点，起刀点为 A 点
N02	G42 D0.1;	钼丝直径若为 $d=0.18$ ，则放电间隙为 0.01
N03	G01 X0.0 Y-20.0	刀具补偿切入到 B 点
N04	G01 X0.0 Y-10.0;	直线切削至 C 点
N05	G02 X0.0 Y10.0 I0.0 J10.0;	加工圆弧至 D 点
N06	G01 X0.0Y20.0;	加工直线 DE 段
N07	G01 X-30.0Y8.04;	加工直线 DF 段
N08	G01 X-30.0Y-8.04;	加工直线 FG 段
N09	G01 X0.0Y-20.0;	加工直线 GB 段
N10	G40 X0.0Y-22.0;	取消刀具补偿，回到 A 点
N11	M02;	程序结束



五、任务学习手记（见表 36-6）

表 36-6 任务学习手记

学生姓名		第_____组	组名	
同组人姓名				
任务学习与执行过程				
学习体会				
巩固练习				
个人自评	本人签名：_____			
小组评价	组长签名：_____			
教师评价	教师签名：_____			

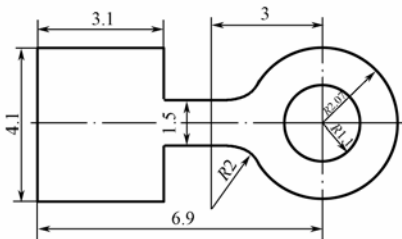


任务三十七 凸凹模轮廓（面）数控线切割加工程序的编制

一、项目任务书

凸凹模轮廓面数控线切割加工程序的编制项目任务书，见表 37-1。

表 37-1 项目任务书

情境名称	模具轮廓（面）数控电火花线切割加工程序的编制				
学习目标	1. 掌握凸凹模加工工艺的制定 2. 掌握凸凹模数控编程技巧与方法				
					
零件名称	凸凹模	材料	45 钢	毛坯尺寸	200×200×20（最小）
任务内容：制定凸凹模的加工工艺并编制其数控加工程序。					
学习指令：3B 指令					
备 注					

二、学习导读

要使数控电火花线切割机床按照预定的要求自动完成切割加工，就应把被加工零件的切割顺序、切割方向、切割尺寸等一系列加工信息，按数控系统要求的格式编制成加工程序，以实现加工。数控电火花线切割机床的编程，主要采用以下三种格式编写：3B 格式编制程序、ISO 代码编制程序和计算机自动编制程序。其中 ISO 代码的应用已在任务三十六中学习，本任务主要学习 3B 格式程序。

1. 3B格式编制程序

目前，我国的数控线切割机床常用 3B 程序格式编制程序，见表 37-2。

表 37-2 无间隙补偿的程序格式（3B 型）

B	X	B	Y	B	J	G	Z
分隔符号	X坐标值	分隔符号	Y坐标值	分隔符号	计数长度	计数方向	加工指令



(1) 分隔符号 B

因为 X、Y、J 均为数字，故用分隔符号（B）将其隔开，以免混淆。

(2) 坐标值（X、Y）

一般规定只输入坐标的绝对值，其单位为 μm ， μm 以下应四舍五入。

对于圆弧，坐标原点移至圆心，X、Y 为圆弧起点的坐标值。

对于直线（斜线），坐标原点移至直线起点，X、Y 为终点坐标值。允许将 X 和 Y 的值按相同的比例放大或缩小。

对于平行于 X 轴或 Y 轴的直线，即当 X 或 Y 为零时，X 或 Y 值均可不写，但分隔符号必须保留。

(3) 计数方向 G

选取 X 方向进给总长度进行计数，称为计 X，用 GX 表示；选取 Y 方向进给总长度进行计数，称为计 Y，用 GY 表示。

① 加工直线时可按图 37-1 所示选取：

当 $|Y_e| > |X_e|$ 时，取 GY；

当 $|X_e| > |Y_e|$ 时，取 GX；

当 $|X_e| = |Y_e|$ 时，取 GX 或 GY 均可。

② 对于圆弧，当圆弧终点坐标在图 37-2 所示的各个区域时

当 $|X_e| > |Y_e|$ 时，取 GY；

当 $|Y_e| > |X_e|$ 时，取 GX；

当 $|X_e| = |Y_e|$ 时，取 GX 或 GY 均可。

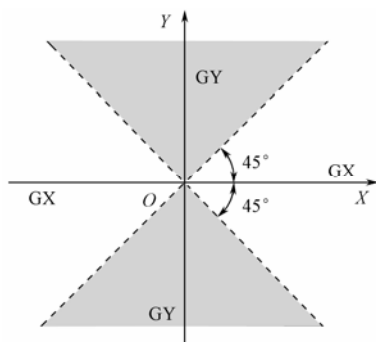


图 37-1 斜线的计数方向

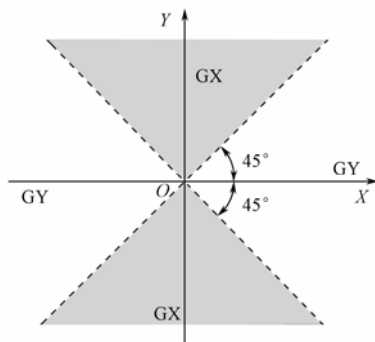


图 37-2 圆弧的计数方向

(4) 计数长度 J

计数长度是指被加工图形在计数方向上的投影长度（即绝对值）的总和，以 μm 为单位。

【例 37-1】 加工图 37-3 所示斜线 OA，其终点为 A (X_e, Y_e)，且 $Y_e > X_e$ ，试确定 G 和 J。

因为 $|Y_e| > |X_e|$ ，OA 斜线与 X 轴夹角大于 45° 时计数方向取 GY，斜线 OA 在 Y 轴上的投影长度为 Y_e ，故 $J = Y_e$ 。

【例 37-2】 加工图 37-4 所示圆弧，加工起点 A 在第四象限，终点 B(X_e, Y_e)在第一象限，试确定 G 和 J。



因为加工终点靠近 Y 轴, $|Y_e| > |X_e|$, 故计数方向取 GX; 计数长度为各象限中的圆弧段在 X 轴上投影长度的总和, 即 $J = J_{x1} + J_{x2}$ 。

【例 37-3】 加工图 37-5 所示圆弧, 加工终点 $B(X_e, Y_e)$, 试确定 G 和 J。

因加工终点 B 靠近 X 轴, $|X_e| > |Y_e|$, 故计数方向取 GY; J 为各象限的圆弧段在 Y 轴上投影长度的总和, 即 $J = J_{y1} + J_{y2} + J_{y3}$ 。

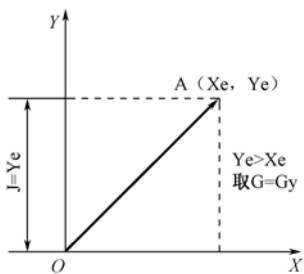


图 37-3 斜线的 G 和 J

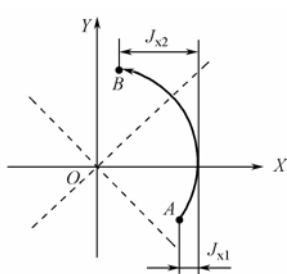


图 37-4 圆弧的 G 和 J

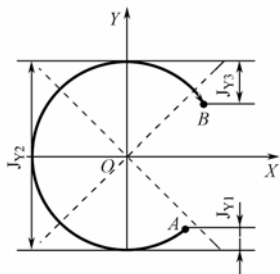
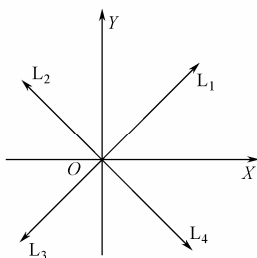


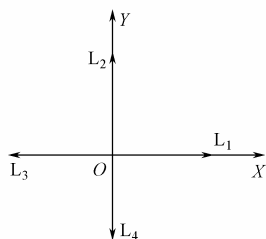
图 37-5 圆弧的 G 和 J

(5) 加工指令 Z

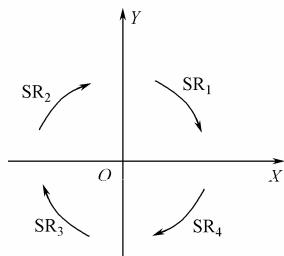
加工指令 Z 是用来表达被加工图形的形状、所在象限和加工方向等信息的。控制系统根据这些指令, 正确选择偏差公式, 进行偏差计算, 控制工作台的进给方向, 从而实现机床的自动化加工。加工指令共 12 种, 如图 37-6 所示。



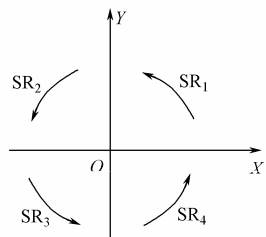
(a) 直线加工指令



(b) 坐标轴上直线加工指令



(c) 顺时针圆弧指令



(d) 逆时针圆弧指令

图 37-6 加工指令

位于四个象限中的直线段称为斜线。加工斜线的加工指令分别用 L_1 、 L_2 、 L_3 、 L_4 表示, 如图 37-6 (a) 所示。与坐标轴相重合的直线, 根据进给方向, 其加工指令可按图 37-6 (b) 选取。



加工圆弧时，若被加工圆弧的加工起点分别在坐标系的四个象限中，并按顺时针插补，如图 37-6（c）所示，则加工指令分别用 SR_1 、 SR_2 、 SR_3 、 SR_4 表示；按逆时针方向插补时，分别用 NR_1 、 NR_2 、 NR_3 、 NR_4 表示，如图 37-6（d）所示。若加工起点刚好在坐标轴上，则其指令可选相邻两象限中的任何一个。

（6）应用举例

【例 37-4】 加工图 37-7 所示斜线 OA ，终点 A 的坐标为 $X_e=17\text{mm}$ 、 $Y_e=5\text{mm}$ ，写出加工程序。

其程序为：

B17000 B5000 B017000GxL₁

【例 37-5】 加工图 37-8 所示直线，其长度为 21.5mm，写出其程序。

相应的程序为：

BBB021500GyL₂

【例 37-6】 加工图 37-9 所示圆弧，加工起点的坐标为 $A(-5,0)$ ，试编制程序。

其程序为：

B5000 BB010000GySR₂

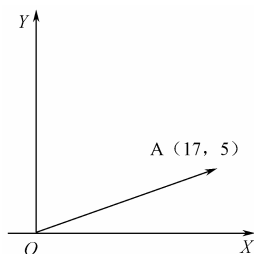


图 37-7 加工斜线

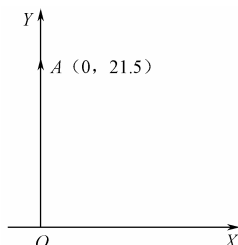


图 37-8 加工与 Y 轴正方向重合的直线

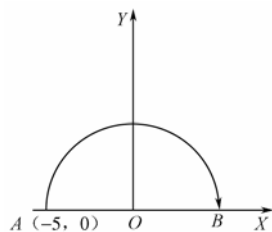


图 37-9 加工半圆弧

【例 37-7】 加工图 37-10 所示 1/4 圆弧，加工起点 $A(0.707, 0.707)$ ，终点为 $B(-0.707, 0.707)$ ，试编制程序。

相应的程序为：

B707 B707 B001414GxNR₁

由于终点恰好在 45° 线上，故也可取 Gy，则

B707 B707 B000586GyNR₁

【例 37-8】 加工图 37-11 所示圆弧，加工起点为 $A(-2, 9)$ ，终点为 $B(9, -2)$ ，编制加工程序。

圆弧半径： $R=9220\mu\text{m}$

计数长度： $J_{YAC}=9000\mu\text{m}$



$$J_{YCD}=9220\mu\text{m}$$

$$J_{YDB}=R-2000\mu\text{m}=7200\mu\text{m}$$

$$\text{则 } J_Y=J_{YAC}+J_{YCD}+J_{YDB}=(9000+9220+7220)\mu\text{m}=25440\mu\text{m}$$

其程序为:

B2000 B9000 B025440GyNR₂

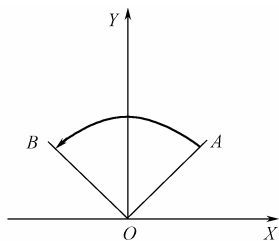


图 37-10 加工 1/4 圆弧

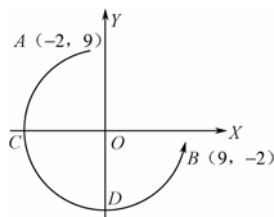


图 37-11 加工圆弧段

2. ISO代码编制程序

我国快走丝数控电火花切割机床常用的 ISO 代码指令, 与国际上使用的标准基本一致, 见表 37-3。

表 37-3 ISO 代码

运动指令	坐标方式指令	坐标系指令	补偿指令	M 代码	镜像指令	锥度指令	坐标指令	其他指令
------	--------	-------	------	------	------	------	------	------

(1) 运动指令: ① G00 快速定位指令; ② G01 直线插补指令; ③ G02、G03 圆弧插补指令。

(2) 坐标方式指令: G90 为绝对坐标指令, G91 为增量坐标指令。

(3) 坐标系指令: 见表 37-4。

表 37-4 坐标系指令

G92	加工坐标系设置指令
G54	加工坐标系 1
G55	加工坐标系 2
G56	加工坐标系 3
G57	加工坐标系 4
G58	加工坐标系 5
G59	加工坐标系 6

(4) 补偿指令: 见表 37-5。

表 37-5 补偿指令

G40	取消间隙补偿
G41	左偏间隙补偿, D 表示偏移量
G42	右偏间隙补偿, D 表示偏移量



（5）M 代码：M 为系统辅助功能指令，常用 M 代码见表 37-6。

表 37-6 M 代码

M00	程序暂停
M02	程序结束
M05	接触感知解除
M96	主程序调用子程序
M97	主程序调用子程序结束

（6）镜像指令：见表 37-7。

表 37-7 镜像指令

G05	X 轴镜像
G06	Y 轴镜像
G07	X、Y 轴交换
G08	X 轴镜像，Y 轴镜像
G09	X 轴镜像，X、Y 轴交换
G10	Y 轴镜像，X、Y 轴交换
G11	Y 轴镜像，X 轴镜像，X、Y 轴交换
G12	消除镜像

（7）锥度指令：见表 37-8。

表 37-8 锥度指令

G50	消除锥度
G51	锥度左偏,A 为角度值
G52	锥度右偏,A 为角度值

（8）坐标指令：见表 37-9。

表 37-9 坐标指令

W	下导轮到工作台面高度
H	工件厚度
S	工作台面到上导轮高度

三、任务解析

编制加工任务书中凸凹模（图示尺寸是根据刃口尺寸公差及凸凹模配合间隙计算出的平均尺寸）的数控线切割程序。电极丝是直径为 $\phi 0.1\text{mm}$ 的钼丝，单面放电间隙为 0.01mm 。

下面主要就工艺计算和程序编制进行讲述。

1. 确定计算坐标系

由于凸凹模零件图形上、下对称，所以孔的圆心在图形对称轴上，圆心为坐标原点。



又因为图形对称于 X 轴，所以只需求出 X 轴上半部（或下半部）钼丝中心轨迹上各段的交点坐标值即可，从而使计算过程简化。

2. 确定补偿距离

补偿距离为：

$$\Delta R = (0.1/2 + 0.01) \text{mm} = 0.06 \text{mm}$$

钼丝中心轨迹，如图 37-12 中双点划线所示。

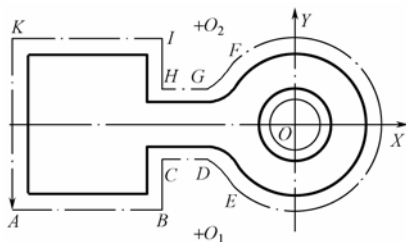


图 37-12 凸凹模编程示意图

3. 计算交点坐标

将电极丝中心点轨迹划分成单一的直线或圆弧段，见图 37-12。

因两圆弧的切点必定在两圆弧的连心线 OO_1 上，而直线 OO_1 的方程为 $Y = (2.75/3)X$ ，故可求得 E 点的坐标值 X 、 Y 为

$$X = -1.570 \text{mm} \quad Y = -1.493 \text{mm}$$

其余各点坐标值可直接从图形中求得，见表 37-10。

切割型孔时电极丝中心至圆心 O 的距离（半径）为

$$R = (1.1 - 0.06) \text{mm} = 1.04 \text{mm}$$

表 37-10 凸凹模轨迹图形各段交点及圆心坐标

交点	X	Y	交点	X	Y	圆心	X	Y
B	-3.74	-2.11	G	-3	0.81	O_1	-3	-2.75
C	-3.74	-0.81	H	-3	0.81	O_2	-3	-2.75
D	-3	-0.81	I	-3.74	2.11			
E	-1.57	-1.4393	K	-6.96	2.11			

四、任务实施（零件加工工艺分析与编程）

1. 工装

采用螺钉压板固定毛坯外周。

2. 切割丝的选择

钼丝，直径 0.18mm。



3. 编制程序

切割凸凹模时，不仅要切割外表面，而且还要切割内表面，因此要在凸凹模型孔的中心 O 处钻穿丝孔。先切割型孔，然后再按 $B \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow E \rightarrow F \rightarrow G \rightarrow H \rightarrow I \rightarrow K \rightarrow A \rightarrow B$ 的顺序切割。3B 格式切割程序单见表 37-11。

表 37-11 凸凹模线切割程序

序号	B	X	B	Y	B	J	G	Z	说 明
1	B		B		B	001040	Gx	L3	穿丝切割
2	B	1040	B		B	004160	Gy	SR2	
3	B		B		B	001040	Gx	L1	
4								D	拆卸钼丝
5	B		B		B	013000	Gy	L4	空走
6	B		B		B	003740	Gx	L3	空走
7								D	重新装上钼丝
8	B		B		B	012190	Gy	L2	切入并加工 BC 段
9	B		B		B	000740	Gx	L1	
10	B		B	1940	B	000629	Gy	SR1	
11	B	1570	B	1439	B	005641	Gy	NR3	
12	B	1430	B	1311	B	001430	Gx	SR4	
13	B		B		B	000740	Gx	L3	
14	B		B		B	001300	Gy	L2	
15	B		B		B	003220	Gx	L3	
16	B		B		B	004220	Gy	L4	
17	B		B		B	003220	Gx	L1	
18	B		B		B	008000	Gy	L4	推出
19								D	加工结束

五、任务学习手记（见表 37-12）

表 37-12 任务学习手记

学生姓名		第_____组	组名	
同组人姓名				
任务学习与执行过程				



续表

学习体会	
巩固练习	
个人自评	本人签名：_____
小组评价	组长签名：_____
教师评价	教师签名：_____

拓展训练任务

					外轮廓各节点坐标
					P1 (-45, -75)
					P2 (-45, -40)
					P3 (-25, -40)
					P4 (-20, -15)
					P5 (20, -15)
					P6 (25, -40)
					P7 (45, -40)
					P8 (45, -75)
					P9 (0, -60)
零件名称	凸模	材料	45 钢	毛坯尺寸	200×200×20
任务内容：制定凸模的数控线切割加工工艺并编制其数控线切割加工程序					

附录A 数控基础知识

一、FANUC OI系统主要功能字说明

附表 A-1 数控车床 FANUC OI 系统常用的 G 功能代码表

代 码	组别	意 义	代 码	组别	意 义	代 码	组别	意 义
*G00	01	快速点定位	*G40	07	刀补取消	G73	00	车闭环复合循环
*G01		直线插补	*G41		左刀补	G76		车螺纹复合循环
*G02		顺圆插补	*G42		右刀补	G80	10	取消固定循环
G03		逆圆插补	G52	00	局部坐标系设置	G83		钻孔循环
G32	00	螺纹切削	G54~G59	11	零点偏置	G84		车螺纹固定循环
G04		暂停延时				*G90	03	单一固定循环
*G20	02	英制单位	G65	00	简单宏调用	G92	00	螺纹切削循环
*G21		公制单位	G66	12	宏指令调用	* G98	05	每分钟进给方式
G27	06	回参考点检查	G67		宏调用取消	G99		每转进给方式
G28		回参考点	G71	00	车外圆复合循环	G94	01	端面切削编程
G29		参考点返回	G72		车端面复合循环	G96	12	主轴恒转速控制
G32	01	切螺纹	G70		精加工循环	G97	12	取消恒转速控制

附表 A-2 数控铣床和加工中心 FANUC OI 系统常用的 G 功能代码表

代 码	功 能	组 别	代 码	功 能	组 别
★G00	快速定位	01	G54	选择第 1 工件坐标系	12
G01	直线插补		G55	选择第 2 工件坐标系	
G02	顺时针插补		G56	选择第 3 工件坐标系	
G03	逆时针插补		G57	选择第 4 工件坐标系	
G04	暂停	00	G58	选择第 5 工件坐标系	09
G09	确定停止检验		G59	选择第 6 工件坐标系	
G10	自动原点补正，刀具补正设定		G65/G66	用户宏程序	
G15	极坐标指令		G67	取消宏程序	
G16	取消极坐标	02	G68	坐标系旋转	
G17	XY 平面选择		G69	取消旋转	
G18	XZ 平面选择		G73	高速深孔啄钻循环	
G19	YZ 平面选择		G74	攻左螺纹循环	
G20	英制单位输入选择	06	G76	精镗孔循环	
G21	米制单位输入选择		G80	取消固定循环	
G27	参考点返回检查	00	G81	钻孔循环	
G28	参考点返回		G82	沉孔钻孔循环	
G29	由参考点返回		G83	深孔啄钻循环	
G30	第 2、3、4 参考点返回		G84	攻右螺纹循环	
G33	螺纹切削	01	G85	铰孔循环	
G40	取消刀具半径补偿	07	G86	背镗循环	



续表

G41	左刀补		G90	绝对坐标编程	03
G42	右刀补		G91	增量坐标编程	
G43	刀具长度正补偿	08	G92	定义编程原点	00
G44	刀具长度负补偿		G94	每分钟进给量	05
G49	取消刀具长度补偿		G95	每转进给	
G50	取消比例缩放		G98	Z 轴返回起始点	10
G51	比例缩放	00	G99	Z 轴返回 R 点	
G50.1	取消镜像				
G51.1	镜像				
G52	局部坐标系统				

1. 尺寸字

尺寸字用于确定机床上刀具运动终点的坐标位置。

其中，第一组 X、Y、Z、U、V、W、P、Q、R 用于确定终点的直线坐标尺寸；第二组 A、B、C、D、E 用于确定终点的角度坐标尺寸；第三组 I、J、K 用于确定圆弧轮廓的圆心坐标尺寸。在一些数控系统中，还可以用 P 指令暂停时间、用 R 指令圆弧的半径等。

2. 进给功能字F

进给功能字的地址符是 F，又称为 F 功能或 F 指令，用于指定切削的进给速度。对于车床，F 可分为每分钟进给和主轴每转进给两种；对于其他数控机床，一般只用每分钟进给。F 指令在螺纹切削程序段中常用来指令螺纹的导程。

3. 主轴转速功能字S

主轴转速功能字的地址符是 S，又称为 S 功能或 S 指令，用于指定主轴转速，单位为 r/min。对于具有恒线速度功能的数控车床，程序中的 S 指令用来指定车削加工的线速度数。

4. 刀具功能字T

刀具功能字的地址符是 T，又称为 T 功能或 T 指令，用于指定加工时所用刀具的编号。对于数控车床，其后的数字还兼作指定刀具长度补偿和刀尖半径补偿用。

该指令可指定刀具号及刀具补偿号。

格式：T □□ □□

其中，前两位指定刀具序号；后两位指定刀具补偿号。

- *刀具序号尽量与刀塔上的刀位号相对应；
- *刀具补偿包括几何补偿和磨损补偿；
- *为使用方便，应尽量使刀具序号和刀具补偿号保持一致；
- *取消刀具补偿，T 指令格式为：T □□ 或 T □□00

5. 辅助功能字M

辅助功能字的地址符是 M，后续数字一般为 1~3 位正整数，又称为 M 功能或 M 指令，用于指定数控机床辅助装置的开关动作，见附表 A-3。



附表 A-3 M 功能字含义表

M 功能字	含 义
M00	程序停止
M01	计划停止
M02	程序停止
M03	主轴顺时针旋转
M04	主轴逆时针旋转
M05	主轴旋转停止
M06	换刀
M07	2 号冷却液开
M08	1 号冷却液开
M09	冷却液关
M30	程序停止并返回开始处
M98	调用子程序
M99	返回子程序

二、数控技术与数控机床的相关知识

数控技术是综合了计算机技术、自动控制、电动机、电气传动、精密测量、监控、机械制造和管理信息等学科领域最新成果而形成的一门边缘科学技术。在现代机械制造领域中，数控技术已成为核心技术之一，是实现柔性制造（Flexible Manufacturing, FM）、计算机集成制造（Computer Integrated Manufacturing, CIM）、工厂自动化（Factory Automation, FA）的重要基础技术之一。数控技术较早地应用于机床装备中，本书中的数控技术具体指机床数控技术。

国家标准（GB 8129—87）把机床数控技术定义为“用数字化信息对机床运动及其加工过程进行控制的一种方法”，简称数控（Numerical Control, NC）。计算机数控技术称为 CNC。数控机床就是采用了计算机数控技术的机床。国际信息处理联盟（International Federation of Information Processing）第五技术委员会对数控机床作了如下定义：“数控机床是一个装有程序控制系统的机床，该系统能够逻辑地处理具有使用代码或其他符号编码指令规定的程序。”换言之，数控机床是一种采用计算机，利用数字信息进行控制的高效、能自动化加工的机床，它能够按照机床规定的数字化代码，把各种机械位移量、工艺参数、辅助功能（如刀具交换、冷却液开与关等）表示出来，经过数控系统的逻辑处理与运算，发出各种控制指令，实现要求的机械动作，自动完成零件加工任务。在被加工零件或加工工序变换时，它只需改变控制的指令程序就可以实现新的加工。所以，数控机床是一种灵活性很强、技术密集度及自动化程度很高的机电一体化加工设备。

随着自动控制理论、电子技术、计算机技术、精密测量技术和机械制造技术的进一步发展，数控技术正向高速度、高精度、智能化、开放型及高可靠性等方向迅速发展

数控机床最早诞生于美国。1948 年，美国帕森斯公司在研制加工直升机叶片轮廓检查



用样板的机床时，提出了数控机床的设想，后受美国空军委托与麻省理工学院合作，于 1952 年试制了世界上第一台三坐标数控立式铣床，其数控系统采用电子管。1960 年开始，德国、日本、中国等都陆续地开发、生产及使用数控机床，中国于 1968 年由北京第一机床厂研制出第一台数控机床。1974 年微处理器直接用于数控机床，进一步促进了数控机床的普及应用和飞速发展。

由于微电子和计算机技术的不断发展，数控机床的数控系统一直在不断更新，到目前为止已经历以下几代变化。

第一代数控系统（1952—1959 年）：采用电子管构成的硬件数控系统。

第二代数控系统（1959—1965 年）：采用以晶体管电路为主的硬件数控系统。

第三代数控系统（1965 年开始）：采用小、中规模集成电路的硬件数控系统。

第四代数控系统（1970 年开始）：采用大规模集成电路的小型通用电子计算机数控系统。

第五代数控系统（1974 年开始）：采用微型计算机控制的系统。

第六代数控系统（1990 年开始）：采用工控 PC 机的通用 CNC 系统。

前三代为第一阶段，其数控系统主要由硬件连接构成，称为硬件数控；后三代称为计算机数控，其功能主要由软件完成。

1. 数控机床的组成

（1）计算机数控装置、数控系统（CNC 装置）

计算机数控装置（数控系统）是计算机数控系统的核心。其主要作用是根据输入的零件加工程序或操作命令进行相应处理，然后输出控制命令到相应的执行部件（伺服单元、驱动装置和 PLC 等）完成零件加工程序或操作者所要求的工作。它主要由计算机系统、位置控制板、PLC 接口板、通信接口板、扩展功能模块及相应的控制软件等组成。

计算机数控装置（数控系统）是数控机床的核心。数控机床根据功能和性能要求，可以配置不同的数控系统。数控系统不同，其指令代码也有差别，因此编程时应按所使用数控系统代码的编程规则进行编程。

常用的数控系统有 FANUC（日本）、SIEMENS（德国）、FAGOR（西班牙）、HEIDENHAIN（德国）、MIT—SUBISHI（日本）等，它们在数控机床行业占据主导地位；我国数控产品以华中数控、航天数控为代表，也已将高性能数控系统产业化。

① FANUC 公司的主要数控系统：

- 高可靠性的 PowerMate 0 系列：用于控制 2 轴的小型车床。
- 普及型 CNC 0—D 系列：0—TD 用于车床；0—MD 用于铣床及小型加工中心；0—GCD 用于圆柱磨床；0—GSD 用于平面磨床；0—PD 用于冲床。
- 全功能型的 0—C 系列：0—TC 用于通用车床、自动车床；0—MC 用于铣床、钻床、加工中心；0—GGC 用于内、外圆磨床；0—GSC 用于平面磨床；0—TTC 用于双刀架 4 轴车床。
- 高性/价比的 Oi 系列：整体软件功能包，高速、高精度加工，并具有网络功能。Oi—MB/MA 用于加工中心和铣床，4 轴 4 联动；Oi—TB/TA 用于车床，4 轴 2 联动；Oi—mate MA 用于铣床，3 轴 3 联动；Oi—mate TA 用于车床，2 轴 2 联动。

② SIEMENS 公司的主要数控系统：



- ZINUMERIK 802 S/C: 用于车床、铣床等, 可控制 3 个进给轴和 1 个轴; SINUMERIK 802S 适用于步进电动机驱动, SINUMERIK 802C 适用于伺服电动机驱动, 具有数字 I/O 接口。
- SINUMERIK 802 D: 控制 4 个数字进给轴和 1 个主轴; PLC I/O 模块; 具有图形式循环编程, 车削、铣削/钻削工艺循环, FRAME (包括移动、旋转和缩放) 等功能, 为复杂加工任务提供智能控制。
- SINUMERIK 810D: 用于数字闭环驱动控制, 最多可控制 6 轴 (包含 1 个主轴和 1 个辅助主轴), 紧凑型可编程输入/输出。
- SIMUMERIK 840D: 全数字模块化数控设计, 用于复杂机床、模块化旋转加工机床和传送机, 最多可控制 31 个坐标轴。

③ FAGOR 公司的主要数控系统:

- CUC 8070: 目前 FAGOR 最高档的数控系统, 代表 FAGOR 顶级水平, 是 CNC 技术与 PC 技术的结晶。它是与 PC 兼容的数控系统, 采用 Pentium CPU, 可运行 Windows 和 MS-DOS。可控制 16 轴+3 电子手轮+2 主轴, 可运行 Visual Basic, Visual C++, 程序段处理时间<1ms, PLC 可达 1024 输入点/1024 输出点, 具有以太网、CAN、SERCOS 通信接口, 可选用±10V 模拟量接口。
- 8055 系列数控系统: FAGOR 的高档数控系统, 可实现 7 轴 7 联动+主轴+手轮控制。按其处理速度不同分为 8055/A、8055/B、8055/C 三种档次, 适用于车床、车削中心、铣床、加工中心及其他数控设备, 具有连续数字化仿形、RTCP 补偿内部逻辑分析仪、SERCOS 接口、远程诊断等许多高级功能。
- 8040/8055—i 标准系列: 属中高档数控系统, 采用中央单元与显示单元合为一体的结构, 8040 可控 4 轴 4 联动+主轴+2 个手轮。8055—i 可实现 7 轴 7 联动+主轴+2 个手轮, 两者用户内存均可达到 1MB 且具有±10V 模拟量接口及数字化 SERCOS 光缆接口, 可配置带 CAM 接口的分布式 PLC。
- 8040/8055—i/8055 TCO/MCO 系列: 一种开放式的数控系统, 可供 OEM 再开发为专用数控系统, 适用于任何机床设备。
- 8040/8055—i/8055 TC/MC 系列: 一种人机对话式数控系统, 其主要特点是无须采用代码编程, 可将零件图中的数据通过人机交互图形界面直接输入系统, 从而实现编程, 俗称傻瓜式数控系统。
- 8025/8035 系列: 8025 系列 FAGOR 公司的中档数控系统, 适用于铣床、加工中心、车床及其他数控设备, 可控 2~5 轴不等。该数控系统是操作面板、显示器、中央单元合一的紧凑结构。8035 是 8040/8055—i/8055 的简化型, 采用 32 位 CPU, 同时也是 8025 的更新换代产品。

④ 华中数控系统:

华中数控系列以“世纪星”系列数控单元为典型产品, HNC—21T 为车削系统, 最大联动轴数为 4 轴; HNC—21/22M 为铣削系统, 最大联动轴数为 4 轴, 采用开放式体系结构, 内置嵌入式工业 PC。

伺服系统的主要产品包括 HSV—11 系列交流伺服驱动装置、HSV—16 系列全数字交流伺服驱动装置、步进电动机驱动装置、交流伺服主轴驱动装置与电动机、永磁同步交流伺服



电动机等。

⑤ 北京航天数控系统:

北京航天数控的主要产品为 CASNUC 2100 数控系统,是以 PC 机为硬件基模块化、开放式的数控系统,可用于车床、铣床、加工中心等 8 轴以下机械设备的控制,具有 2 轴、3 轴、4 轴联动功能。

⑥ 天津大学数控系统:

天津大学精益数控公司推出的 TDNC 系列数控系统包括 L (经济型) 和 M (中档型) 两个系列。TDNC-LT/M2000,经济型车削/铣削系统,为最新推出的经济型车床控制系统;TDNC-M4 为其最新推出的中档型高性能多功能四轴运动控制系统,具备智能化、网络化和开放结构三大重要特征,是加工和控制过程中的平台级装备产品,可广泛用于数控机床、工业机器人、自动化生产线等工业自动化领域。

(2) 伺服单元、驱动装置和测量装置

伺服单元和驱动装置包括主轴伺服驱动装置、主轴电动机、进给伺服驱动装置及进给电动机。

(3) 控制面板

控制面板又称操作面板,是操作人员与数控机床(系统)进行信息交互的工具。它是数控机床的一个输入/输出部件,主要由按钮站、状态灯、按键阵列(其功能同计算机键盘)和显示器等部分组成。

(4) 控制介质与程序输入/输出设备

控制介质是记录零件加工程序的媒介,是人与机床建立联系的介质。

目前,在数控机床常用的通信方式有:

- ① 串行通信;
- ② 自动控制专用接口;
- ③ 网络技术。

(5) PLC、机床 I/O (输入/输出) 电路和装置

它们共同完成以下任务:

① 接受 CNC 的 M、S、T 指令,对其进行译码并转换成对应的控制信号,控制装置完成机床相应的开关动作;

② 接受操作面板和机床传送来的 I/O 信号,送给 CNC 装置,经其处理后,输出指令控制 CNC 系统的工作状态和机床的动作。

(6) 机床本体

机床本体是数控系统的控制对象,是实现加工零件的执行部件。它主要由主运动部件(主轴、主运动传动机构)、进给运动部件(工作台、拖板及相应的传动机构)、支承件(立柱、床身等),以及特殊装置、自动工作台交换(APC)系统、自动刀具交换(ATC)系统和辅助装置(如冷却、润滑、排屑、转位和夹紧装置等)组成。

2. 数控机床的特点

数控机床是一种高效、新型的自动化机床,具有广泛的应用前景。它与普通机床相比具有以下特点。



(1) 加工零件的适应性、灵活性好

数控机床具有多坐标轴联动功能,能加工形状复杂的零件,并可按零件加工的要求变换加工程序,不必对加工设备作复杂的调整即可变更加工任务。由于采用数控加工程序控制,当加工零件改变时,只要改变数控加工程序,便可实现对新零件的自动化加工,因此能适应当前市场竞争中对产品不断更新换代的要求,解决了多品种、单件小批量生产的自动化问题,满足飞机、汽车、造船、动力设备、国防军工等制造部门对复杂形状零件和型面零件的加工需要。

(2) 精度高、质量稳定

精度可达到 $0.005\sim 0.1\text{mm}$ 。加工精度不受产品形状及其复杂程度的影响;自动化加工消除了人为误差,使同批产品加工质量更稳定。数控机床是按照预定的程序自动加工的,不需要人工干预,这就消除了操作者人为产生的失误或误差;数控机床本身的刚度高、精度高,并且精度保持性较好,这更有利于零件加工质量的稳定;还可以利用软件进行误差补偿和校正,这也使数控加工具有较高的精度。

(3) 生产效率高

数控机床的进给运动和多数主运动都采用无级调速,且调速范围大,可选择合理的切削速度和进给速度;可以进行在线检测,避免数控机床加工中的停机时间;可采用自动换刀、自动交换工作台,减少了换刀时间;加工的同时可以进行工件装卸,并且一次装夹可实现多面和多工序加工,减少了工件装夹、对刀等辅助时间;数控加工工序集中,可减少零件周转时间。因此,数控加工生产率较高,一般零件可以高出 $3\sim 4$ 倍,复杂零件可提高十几倍甚至几十倍。

(4) 劳动强度低、劳动条件好

数控机床操作者除了操作键盘、装卸零件、安装刀具、完成关键工序的中间测量及观察机床的运行之外,不需要进行繁杂的重复性手工操作,因此劳动强度大为减轻。此外,数控机床一般都具有较好的安全防护、自动排屑、自动冷却和自动润滑装置,操作者的劳动强度、紧张程度和劳动条件得到了很大改善。

(5) 有利于现代化生产与管理

采用数控机床加工能方便、精确地计算零件的加工时间,精确计算生产和加工费用,并有效地简化了检验和工夹具、半成品的管理工作,有利于生产过程的科学管理和信息化管理。数控机床是 DNC、FMS、CIMS 等先进制造系统的基础,便于制造系统的集成。

(6) 使用、维护技术要求高

数控机床是综合多学科、新技术的产物,机床价格高,设备一次性投资大,相应地,机床的操作和维护要求较高。因此,为保证数控加工的综合经济效益,要求机床的使用者和维修人员应具有较高的专业素质。

3. 数控加工技术的主要应用对象

数控加工是一种可编程的柔性加工方法,但其设备费用相对较高,故目前数控加工主要应用于加工零件形状比较复杂、精度要求较高,以及产品更换频繁、生产周期要求短的场所。具体来讲,以下类型的零件最适宜于数控加工。

① 形状复杂、加工精度要求较高或用数学方法定义的复杂曲线、曲面轮廓。



- ② 公差带小、互换性高、要求精确复制的零件。
- ③ 用通用机床加工时，要求设计制造复杂的专用工装或需要很长调整时间的零件。
- ④ 价值高、不允许报废的零件。
- ⑤ 多品种、小批量生产的零件。
- ⑥ 钻、镗、铰、攻螺纹及铣削加工联合进行的零件。

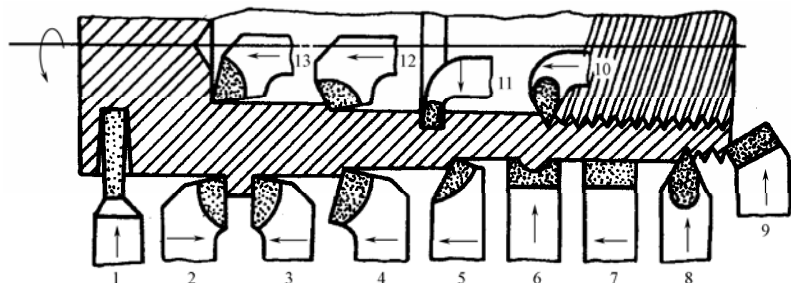
三、数控刀具介绍

1. 车刀和刀片的种类

由于工件材料、生产批量、加工精度及机床类型、工艺方案不同，所以车刀的种类也异常繁多。根据与刀体的连接固定方式不同，车刀主要可分为焊接式与机夹可转位式两大类。

(1) 焊接式车刀

将硬质合金刀片用焊接的方法固定在刀体上称为焊接式车刀。这种车刀的优点是结构简单，制造方便，刚性较好；缺点是由于存在焊接应力，故使刀具材料的使用性能受到影响，甚至出现裂纹。另外，刀杆不能重复使用，硬质合金刀片不能充分回收利用，造成刀具材料的浪费。根据工件加工表面及用途不同，焊接式车刀又可分为切断刀、外圆车刀、端面车刀、内孔车刀、螺纹车刀及成形车刀等，如附图 A-1 所示。



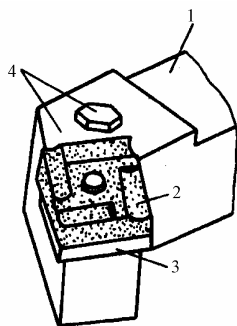
1—切断刀；2—90°左偏刀；3—90°右偏刀；4—弯头车刀；5—直头车刀；6—成形车刀；7—宽刃精车刀；8—外螺纹车刀；9—端面车刀；10—内螺纹车刀；11—内槽车刀；12—通孔车刀；13—盲孔车刀

附图 A-1 焊接式车刀的种类

(2) 机夹可转位式车刀

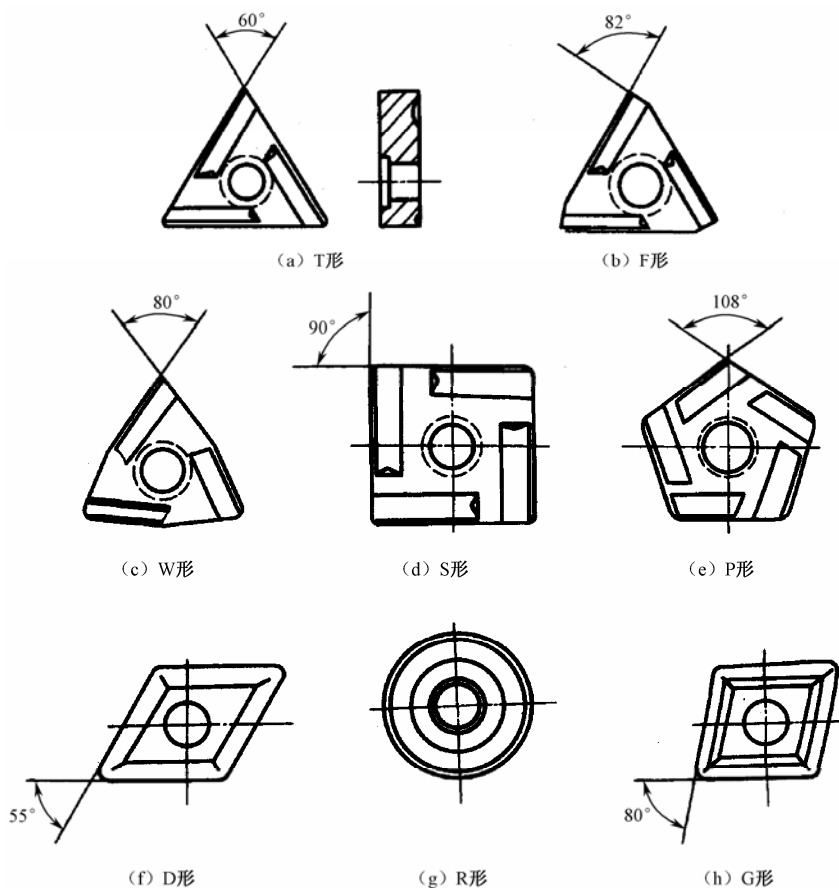
如附图 A-2 所示，机夹可转位式车刀由刀杆 1、刀片 2、刀垫 3 及夹紧元件 4 组成。刀片每边都有切削刃，当某切削刃磨损钝化后，只需松开夹紧元件，将刀片转一个位置便可继续使用。

刀片是机夹可转位式车刀的一个最重要组成元件。按照国标 GB 2076—87，其刀片大致可分为带圆孔、带沉孔及无孔三大类，形状有三角形、正方形、五边形、六边形、圆形及菱形等共 17 种。如附图 A-3 所示为常见的几种刀片形状及其角度。



1—刀杆；2—刀片；3—刀垫；4—夹紧元件

附图 A-2 机夹可转位式车刀



附图 A-3 常见的几种刀片形状及其角度

2. 数控可转位刀片与刀片代码

按照国际标准 ISO 1832—1985 中可转位刀片的代码表示方法, 代码由 10 位字符串组成, 其排列如下:

① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨ ⑩

其中每一位字符串代表刀片某种参数的意义, 分述如下。

- ①: 刀片的几何形状及其夹角。
- ②: 刀片主切削刃后角(法角)。
- ③: 刀片内接圆直径 d 与厚度 s 的精度级别。
- ④: 刀片形式、紧固方法或断屑槽。
- ⑤: 刀片边长、切削刃长度。
- ⑥: 刀片厚度。
- ⑦: 刀尖圆角半径 r_n 或主偏角 k_r 或修光刃后角 α_n 。
- ⑧: 切削刃状态, 刀尖切削刃或倒棱切削刃。
- ⑨: 进刀方向或倒刃宽度。
- ⑩: 厂商的补充符号或倒刃角度。



一般情况下，第 8 位和第 9 位代码是当有要求时才被填写使用的，第 10 位代码根据具体厂商而不同。

例如，车刀可转位刀片 TNUM160408ERA2 的表示含义如下：

T——60° 三角形刀片形状；

N——法后角为 0° ；

U——内切圆直径 d 为 6.35mm 时，刀尖转位尺寸允差 $\pm 0.13\text{mm}$ ，内接圆允差 $\pm 0.08\text{mm}$ ，厚度允差 $\pm 0.13\text{mm}$ ；

M——圆柱孔单面断屑槽；

16——刀刃长度 16 mm；

04——刀片厚度 4.76 mm；

08——刀尖圆弧半径 0.8 mm；

E——刀刃倒圆；

R——向左方向切削；

A2——直沟卷屑槽，槽宽 2 mm。

3. 车削加工中的切削运动

在普通车床和一般数控车床上，可以进行工件的外表面、端面、内表面及内外螺纹的加工。对于车削中心，除上述各种加工外，还可进行铣削、钻削等加工。从上述介绍可以看出，在切削过程中，刀具和工件之间必须具有相对运动，这种相对运动称为切削运动。根据切削运动在切削过程中的作用不同可以分为主运动和进给运动。各种机床的主运动和进给运动参见附表 A-4。

附表 A-4 各种机床的主运动和进给运动

机床类型	主运动	进给运动
数控车床	主轴（工件）	刀架
数控铣床	主轴（刀具）	工作台
数控磨床	主轴（砂轮刀具）	工作台（或砂轮轴），视磨床种类而定
数控镗床	主轴（刀具）	工作台

（1）主运动

主运动是指机床提供的主要运动。主运动使刀具和工件之间产生相对运动，从而使刀具的前刀面接近工件并对工件进行切削。在车床上，主运动是机床上主轴的回转运动，即车削加工时工件的旋转运动。

（2）进给运动

进给运动是指由机床提供的使刀具与工件之间产生运动的附加相对运动。进给运动与主运动相配合，可以形成完整的切削加工。在普通车床上，进给运动是机床刀架（溜板）的直线移动。它可以是纵向的移动（与机床主轴轴线平行），也可以是横向的移动（与机床主轴轴线垂直），但只能是一个方向的移动。在数控车床上，可以同时实现两个方向的进给，从而加工出各种具有复杂母线的回转体工件。

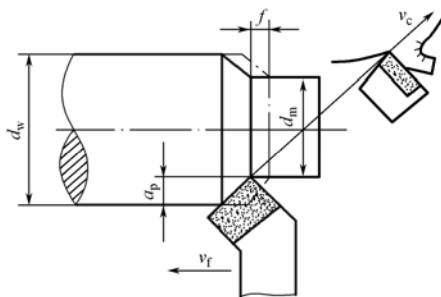
在数控车床中，主运动和进给运动是由不同的电动机来驱动的，分别称为主轴电动机



和坐标轴伺服电动机。它们由机床的控制系统进行控制，自动完成切削加工。

4. 切削用量

切削用量是指机床在切削加工时的状态参数。不同类型的机床对切削用量参数的表述也略有不同，但其基本含义都是一致的，如附图 A-4 所示。



附图 A-4 车削加工中切削用量示意图

(1) 切削速度 (v_c)

切削刃上的切削点相对于工件运动的瞬时速度称为切削速度。切削速度的单位为米/分 (m/min)。在各种金属切削机床中，大多数切削加工的主运动都是机床主轴的运动形成的，即都是回转运动。切削速度与机床主轴转速之间进行转换的关系为：

$$v_c = \frac{\pi d n}{1000}$$

式中 v_c —— 切削速度 (m/min)；

d —— 工件直径 (mm)；

n —— 主轴转速 (r/min)。

(2) 进给量 (f)

不同种类的机床，进给量的单位是不同的。对于普通车床，进给量为工件（主轴）每转过一转，刀具沿进给方向上相对于工件的移动量，单位为 mm/r；对于数控车床，由于其控制原理与普通车床不同，故进给量还可以用进给速度 v_f （单位为 mm/min）来表示，即刀具在单位时间内沿着进给方向上相对于工件的位移量。其他类型的机床则根据其结构不同，进给量的单位表示还可以为刀具或工件每转的位移量 (mm/r，使用多齿刀具的机床)。在车削加工时，进给速度 v_f 是指切削刃上选定点相对于工件进给运动的瞬时速度。它与进给量之间的关系为：

$$v_f = n \times f$$

(3) 切削深度 (a_p)

已加工表面和待加工表面之间的垂直距离，即切削深度。对于车床而言，切削深度 a_p 的计算公式为：

$$a_p = \frac{d_w - d_m}{2}$$

式中 d_w —— 待加工表面直径 (mm)；

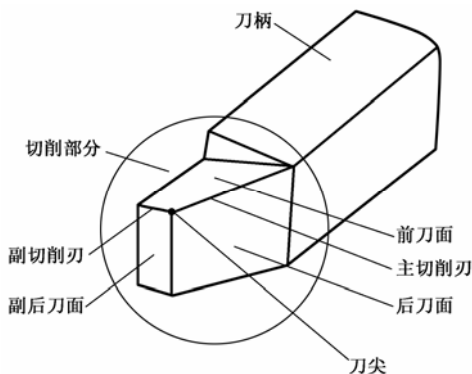
d_m —— 已加工表面直径 (mm)。



在切削加工中，切削速度 (v_c)、进给量 (f) 和切削深度 (a_p) 这三个参数是相互关联的。在粗加工中，为了提高效率，一般采用较大的切削深度 (a_p)。此时切削速度 (v_c) 和进给量 (f) 相对较小；而在半精加工和精加工阶段，一般采用较大的切削速度 (v_c)、较小的进给量 (f) 和切削深度 (a_p)，以获得较好的加工质量（包括表面粗糙度、尺寸精度和形状精度）。

5. 铣削加工与刀具

以车刀为例介绍刀具的基础知识。附图 A-5 所示为普通外圆车刀的示意图。车刀由夹持部分和切削部分组成。夹持部分称为刀柄，用来把刀具装夹在车床的刀架上，一般用 45 钢经锻造加工而成；切削部分俗称为刀头，在车刀上为单刀片。刀片材料一般有高速钢（俗称白钢刀条）和硬质合金两种，用于切削金属材料。根据刀具切削部分与夹持部分（即刀片与刀柄）连接方式的不同，车刀分为焊接刀具和机夹刀具两大类。



附图 A-5 普通外圆车刀的示意图

被加工零件的几何形状是选择刀具类型的主要依据。铣刀的类型很多，这里只介绍在数控机床上常用的铣刀。

(1) 面铣刀

面铣刀主要用于加工较大的平面。标准可转位面铣刀的直径为 16~630mm。粗铣时，铣刀直径要小些，因为粗铣切削力大，选小直径铣刀可减小切削扭矩。精铣时，铣刀直径要选大些，尽量包容工件整个加工宽度，以提高加工精度和效率，并减小相邻两次进给之间的接刀痕迹。

(2) 立铣刀

立铣刀是数控加工中用得最多的一种铣刀，主要用于加工凹槽、较小的台阶面及平面轮廓。

(3) 模具铣刀

模具铣刀主要用于加工空间曲面、模具型腔或凸模成型表面。

(4) 键槽铣刀

键槽铣刀主要用于加工封闭的键槽。

(5) 鼓形铣刀



鼓形铣刀主要用于加工变斜角类零件的变斜角加工面。

(6) 成形铣刀

成形铣刀一般是为了特定的工件或加工内容专门设计制造的,如各种直形或圆形的凹槽、斜角面、特性孔或台。

四、数控机床夹具

1. 数控车床夹具

数控车床主要用于加工内外圆柱面、圆锥面、回转成形面、螺纹及端平面等。上述各表面都是绕车床主轴轴心的旋转而形成的,根据这一加工特点和夹具在车床上安装的位置,将数控车床夹具分为两种基本类型:一类是安装在车床主轴上的夹具,这类夹具和车床主轴相连接并带动工件一起随主轴旋转,除了各种卡盘、顶尖等通用夹具或其他机床附件外,往往根据加工的需要设计出各种心轴或其他专用夹具;另一类是安装在滑板或床身上的夹具,对于某些形状不规则和尺寸较大的工件,常常把夹具安装在车床滑板上,刀具则安装在车床主轴上做旋转运动,夹具做进给运动。数控车床夹具的典型结构如下。

(1) 三爪自定心卡盘

三爪自定心卡盘是一种常用的自动定心夹具,适用于装夹轴类、盘套类零件。

(2) 四爪单动卡盘

四爪单动卡盘适用于外形不规则、非圆柱体、偏心、有孔距要求(孔距不能太大)及位置与尺寸精度要求高的零件。

(3) 花盘

花盘与其他车床附件一起使用,适用于外形不规则、偏心及需要端面定位夹紧的工件。

(4) 心轴

常用心轴有圆柱心轴、圆锥心轴和花键心轴。圆柱心轴主要用于套筒和盘类零件的装夹;圆锥心轴(小锥度心轴)的定心精度高,但工件的轴向位移误差加大,多用于以孔为定位基准的工件;花键心轴用于以花键孔定位的工件。

2. 数控铣床夹具

(1) 机用虎钳

在数控铣床加工中,对于较小的零件,在粗加工、半精加工和精度要求不高时,是利用机用虎钳进行装夹的。机用虎钳装夹的最大优点是快捷,但夹持范围不大。

使用机用虎钳装夹工件时应注意以下几点。

① 在工作台上安装机用虎钳时,要保证机用虎钳的正确位置。当机用虎钳底面没有定位键时,应该使用百分表找正固定钳口面。

② 夹持工件时的位置要适当,不应该装夹在机用虎钳的一端。

③ 安装工件时要考虑铣削时的稳定性。

④ 铣削长形工件时,可使用两个夹具把工件夹紧。

(2) 三爪卡盘



在数控铣床加工中，对于结构尺寸不大且零件外表面为不需要进行加工的圆形表面，可以利用三爪卡盘进行装夹。三爪卡盘也是铣床的通用夹具。

(3) 圆盘工作台

圆盘工作台是铣削比较规则的内外圆弧面零件时的装夹。

(4) 直接在铣床工作台上安装

在单件或少量生产和不便于使用夹具夹持的情况下，常常采用这种方法。

使用压板螺母、螺栓直接在铣床工作台上安装工件时，应该注意压板的压紧点尽量靠近切削处，使得压板的压紧点和压板下面的支撑点相对应。

(5) 利用角铁和 V 形铁装夹工件

此类装夹方式适合于单件或小批量生产。角铁常常用来安装要求表面互相垂直的工件；圆柱形工件（如轴类零件）通常用 V 形铁装夹，利用压板将工件夹紧。

(6) 专用夹具装夹工件

在大批量生产中，为了提高生产效率，常常采用专用夹具装夹工件。使用此类夹具装夹工件，定位方便、准确，夹紧迅速、可靠，而且可以根据工件形状和加工要求实现多件装夹。

(7) 组合夹具装夹工件

组合夹具是由一套预制好的标准元件组装而成的。标准元件有不同的形状、尺寸和规格。应用时可以按照需要选用某些元件，组装成各种各样的形式。组合夹具的主要特点是元件可以长期重复使用，结构灵活多样。

(8) 分度头

分度头是铣床的重要附件。各种齿轮、正多边形、花键及刀具开齿等分度，都可以使用分度头分度。使用分度头和分度头尾座顶尖安装轴类工件时，应使前后顶尖的中心线重合。

五、数控加工工艺相关知识

在进行数控加工工艺设计时，一般应进行以下几方面的工作：数控加工工艺内容的选择；数控加工工艺性分析；数控加工工艺路线的设计。

(1) 尺寸标注应符合数控加工的特点。在数控编程中，所有点、线、面的尺寸和位置都是以编程原点为基准的。因此零件图样上最好直接给出坐标尺寸，或尽量以同一基准引注尺寸。

(2) 几何要素的条件应完整、准确。在程序编制中，编程人员必须充分掌握构成零件轮廓的几何要素参数及各几何要素间的关系。因为在自动编程时要对零件轮廓的所有几何元素进行定义，手工编程时要计算出每个节点的坐标，无论哪一点不明确或不确定，编程都无法进行。但由于零件设计人员在设计过程中考虑不周或被忽略，所以常常出现参数不全或不清楚的现象，如圆弧与直线、圆弧与圆弧是相切还是相交或相离。所以在审查与分析图纸时，一定要仔细核算，发现问题及时与设计人员联系。

(3) 定位基准可靠。在数控加工中，加工工序往往较集中，所以以同一基准定位十分重要。

(4) 统一几何类型及尺寸。零件的外形、内腔最好采用统一的几何类型及尺寸，这样可以减少换刀次数，还可能应用控制程序或专用程序以缩短程序长度。零件的形状尽可能对称，便于利用数控机床的镜像加工功能来编程，以节省编程时间。



数控加工工艺路线设计中应注意以下几个问题。

1. 工序的划分

根据数控加工的特点，数控加工工序的划分一般可按下列方法进行。

(1) 以一次安装、加工作为一道工序。这种方法适合于加工内容较少的零件，加工完后就能达到待检状态。

(2) 以同一把刀具加工的内容划分工序。有些零件虽然能在一次安装中加工出很多待加工表面，但程序太长，会受到某些限制，如控制系统的限制（主要是内存容量）、机床连续工作时间的限制（如一道工序在一个工作班内不能结束）等。此外，程序太长还会增加出错与检索的困难。因此程序不能太长，一道工序的内容不能太多。

(3) 以加工部位划分工序。对于加工内容很多的工件，可按其结构特点将加工部位分成几个部分，如内腔、外形、曲面或平面，并将每一部分的加工作为一道工序。

(4) 以粗、精加工划分工序。对于加工后易发生变形的工件，由于对粗加工后可能发生的变形需要进行校形，故一般来说，凡要进行粗、精加工的过程，都要将工序分开。

2. 顺序的安排

顺序的安排应根据零件的结构和毛坯状况，以及定位、安装与夹紧的需要来考虑。顺序安排一般应按以下原则进行。

(1) 上道工序的加工不能影响下道工序的定位与夹紧，中间穿插有通用机床加工工序的也应综合考虑。

(2) 先进行内腔加工，后进行外形加工。

(3) 以相同定位、夹紧方式加工或用同一把刀具加工的工序，最好连续加工，以减少重复定位次数、换刀次数与挪动压板次数。

3. 数控加工工艺与普通工序的衔接

数控加工工序前后一般都穿插有其他普通加工工序，若衔接得不好就容易产生矛盾。因此在熟悉整个加工工艺内容的同时，要清楚数控加工工序与普通加工工序各自的技术要求、加工目的、加工特点，如要不要留加工余量，留多少；定位面与孔的精度要求及形位公差；对校形工序的技术要求；对毛坯的热处理状态等。这样才能使各工序达到相互满足加工需要，且质量目标及技术要求明确，交接验收有依据的目的。

确定走刀路线时应注意以下几点：

(1) 寻求最短加工路线；

(2) 最终轮廓一次走刀完成。

为保证工件轮廓表面加工后的粗糙度要求，最终轮廓应安排在最后一次走刀中连续加工出来。

(3) 选择切入、切出方向

考虑刀具的进、退刀（切入、切出）路线时，刀具的切出或切入点应在沿零件轮廓的切线上，以保证工件轮廓光滑；应避免在工件轮廓面上垂直上、下刀而划伤工件表面；尽量减少在轮廓加工切削过程中的暂停（切削力突然变化会造成弹性变形），以免留下刀痕。



4. 选择使工件在加工后变形小的路线

对横截面积小的细长零件或薄板零件，应采用分几次走刀加工到最后尺寸或对称去除余量法安排走刀路线。安排工步时，应先安排对工件刚性破坏较小的工步。

附录B 引导文及教学内容实施过程

引导文	教学内容实施过程
一、零件图分析	一、资讯
1. 零件各部形状、尺寸？	1. 工作任务
2. 有哪些精度要求？	(1) 分析任务书要求；(2) 确定工作思路；(3) 了解现有条件；(4) 获得完成任务的相关知识。
3. 是否适合进行数控加工？	
二、工艺方案	2. 教学组织
1. 毛坯的确定？	(1) 协调学生分组；(2) 提供信息资讯途径（教材、课件、视频文件、图书资料、网络资料）；(3) 提供引导文；(4) 协助学生获得各种信息资讯必要的专业知识，集中讲解，培养学生的分析、理解及信息处理能力。
2. 工艺装备的选择？	
3. 加工顺序的安排？	3. 资讯结果：形成学习笔记。
4. 走刀路线的制定？	二、决策计划
5. 切削用量的选择？	1. 工作任务
6. 根据现有工作条件和加工经济性，确定从毛坯到最终成形的加工方案。	(1) 分析论证数控加工工艺方案；(2) 数控加工工艺设计。
三、程序编制	2. 教学组织
1. 数控编程格式。	(1) 指导学生进行加工方法的选择，掌握工序划分的方法、定位基准的选择，走刀路线的设计，加工设备、夹具、刀具、工具的选择，切削用量的选择方法；(2) 协助学生获得加工工艺知识，培养查阅资料、使用手册及工具书的能力。
2. 相关指令的含义。	
3. 某加工面数控加工程序编制。	3. 决策计划结果
四、模拟仿真加工	制作数控加工工序卡片、零点设定卡片、刀具卡片、小组分工计划。
1. 仿真软件操作方法？	三、实施
2. 仿真结果如何？程序和工艺有无不合理之处？	1. 工作任务
3. 是否需修改加工工艺及程序？	(1) 数控加工程序的编制；(2) 数控程序的输入、验证及仿真加工。
	2. 教学组织
	(1) 数控加工仿真软件介绍；(2) 数控程序的输入与调试。
	3. 实施结果
	符合任务书要求的零件仿真结果。
	四、检查评价
	(1) 根据机械加工工艺过程卡片、刀具卡片、程序单、仿真结果，逐项分析。
	对零件进行检验，分析工作过程，提出改进措施等。
	(2) 完成自我评价和小组评价；相关学习成果归档；各小组推举代表进行简短交流发言；各小组上报互评及自评成绩，教师汇总后按百分制确定每个人的工作成绩。
	(3) 教师进行评价。



附录C 课程总评分表

课程名称：		学生姓名：		班级：		
项目		评价内容	得分	权重	总比例	总评
总结性评价		知识考核		30%	30%	
		综合考核		70%		
过程性评价	任务一	教师评价（40%）		100%	70%	
		学习档案（30%）				
		小组评价（15%）				
		自我评价（15%）				
	任务二	教师评价（40%）		100%		
		学习档案（30%）				
		小组评价（15%）				
		自我评价（15%）				
		
		

附录D 教师评价表（教师用表）

项目（任务）名称：		组别：			
评价项目		评分标准			
		优	良	中	差
1. 学习任务是否明确（5）					
2. 学习过程是否呈上升趋势，不断进步（10）					
3. 是否能独立地获取信息，资料收集是否完善（10）					
4. 是否能认真总结、正确评价完成项目任务情况（20）					
5. 能否清晰地表达自己的观点和思路，及时解决问题（10）					
6. 项目任务实施操作的表现如何（20）					
7. 整体职业素养的确立与表现（5）					
8. 工作环境的整洁有序与团队合作精神表现（5）					
9. 每一项任务是否及时、认真完成（10）					
总 评					
改进意见			加分项：		



附录E 学习档案评价表（教师用表）

项目（任务）名称：		组别：			
评 价 项 目		评价标准			
		优	良	中	差
与完成项目任务相关的材料是否收集齐全（10）					
制定的项目工作计划是否及时，质量如何（10）					
项目（任务）学习档案是否完善，完成情况如何（20）					
项目实施过程中学习手记记录是否符合要求（20）					
预习报告是否符合要求（10）					
作业完成情况如何（10）					
归档文件的条理性、整齐性、美观性（20）					
总 评					
改进意见					

附录F 学生自我评价及小组评价表（学生用表）

项目（任务）名称：		学生姓名：				组别：	
评价项目		评价标准				小组 评价	
		优 8~10	良 6~8	中 4~6	差 2~4		
1. 学习态度是否主动，是否能及时完成教师布置的各项任务							
2. 是否完整地记录探究活动的过程，收集的有关学习信息和资料是否完善							
3. 能否根据学习资料对项目进行合理分析，对所制定的方案进行可行性分析							
4. 是否能够完全领会教师的授课内容，并迅速掌握技能							
5. 是否积极参与各种讨论与交流，并能清晰地表达自己的观点							
6. 能否按照学习计划独立或合作完成学习任务							
7. 对学习过程中出现的问题能否主动思考，并使用现有知识进行解决，知道自身知识的不足之处							
8. 通过项目训练是否达到所要求的能力目标							
9. 是否确立了安全、环保意识与团队合作精神							
10. 工作过程中是否能保持整洁、有序、规范的工作环境							
总 评							
改进方法							



附录G 数控加工操作考核（参考）表

姓名		班级	检测号	检测人				
					零件名称			
					图号			
					加工开始时间	时 分		
					加工结束时间	时 分		
					停工时间	分钟		
					停工原因			
					加工日期			
					备注			
检测项目	技术要求/图样尺寸	允差 mm	量具	配分	评 分 标 准	检测值	得分	
机 床 操 作	1	按步骤开机、检查、润滑		3	不正确不得分			
	2	回机床参考点		3	不正确不得分			
	3	程序输入，检查及修改		3	不正确不得分			
	4	程序轨迹检查		3	不正确不得分			
	5	工、夹、刀具的正确安装		3	不正确不得分			
	6	按指定方式对刀		5	不正确不得分			
	7	检查对刀		5	不正确不得分			
尺 寸 检 测	1	总长 56	±0.15	游标卡尺	10	超差 0.1 扣 2 分		
	2	外圆 φ42	0 -0.039	千分尺	10	超差 0.01 扣 2 分		
	3	外圆 φ34	0 -0.062	千分尺	10	超差 0.01 扣 2 分		
	4	表面粗糙度	1.6μm	粗糙度样规	10	降级无分		
	5	表面粗糙度	3.2μm	粗糙度样规	10	降级无分		
	6	M24×2		螺纹环规	8	不合格无分		
	7	R4 圆角		半径规	7	不合格无分		
	8	5×2 槽		游标卡尺	5	不合格无分		
	9	其他长度		游标卡尺	5	不合格无分		
总 配 分				100	总得分			

参 考 文 献

- [1] 姜大源. 职业教育学研究新论. 北京: 教育科学出版社, 2007.
- [2] 郑书华等. 数控铣削编程与操作训练. 北京: 高等教育出版社, 2005.
- [3] 高枫等. 数控车削编程与操作训练. 北京: 高等教育出版社, 2005.
- [4] 杨伟群. 数控工业培训教程(数控铣部分). 北京: 清华大学出版社, 2002.
- [5] 王卫兵. 数控编程 100 例. 北京: 机械工业出版社, 2003.
- [6] 龚仲华. 数控技术. 北京: 机械工业出版社, 2004.
- [7] 严建红. 数控机床编程与加工技术. 福州: 福建科学技术出版社, 2004.
- [8] 高德文. 数控加工中心. 北京: 化学工业出版社, 2003.
- [9] 钱东东. 实用数控编程与操作. 北京: 北京大学出版社, 2007.
- [10] 韩鸿鸾, 荣维芝. 数控机床加工程序的编制. 北京: 机械工业出版社, 2003.
- [11] 陈洪涛. 数控加工工艺与编程. 北京: 高等教育出版社, 2003.
- [12] 徐夏民. 数控铣工实习与考级. 北京: 高等教育出版社, 2004.
- [13] 许祥泰, 刘艳芳. 数控加工编程使用技术. 北京机械工业出版社, 2000.
- [14] 张超英, 罗学科. 数控机床加工工艺、编程及操作实训. 北京: 高等教育出版社, 2003.
- [15] 顾京. 数控加工编程及操作. 北京: 高等教育出版社, 2003.
- [16] 刘雄伟. 数控机床操作与编程培训教程. 北京: 机械工业出版社, 2001.
- [17] 刘瑞己, 胡笛川. 数控编程与操作. 北京: 北京大学出版社, 2009.
- [18] 贾凤桐. 简明铣工手册. 北京: 机械工业出版社, 1996.
- [19] 国家职业资格培训教程. 加工中心操作工(基础知识 中级技能), 北京: 中国劳动社会保障出版社, 2000.
- [20] 职业技能鉴定教材铣工. 北京: 中国劳动出版社, 1996.
- [21] 程叔重. 数控加工工艺. 杭州: 浙江大学出版社, 2003.
- [22] 熊熙. 数控加工实训教程. 化学工业出版社, 2003.
- [23] 实用车工手册编写组. 实用车工手册. 北京: 机械工业出版社, 2002.
- [24] 张超英. 数控车床. 北京: 化学工业出版社, 2003.
- [25] 范悦等. CAXA 数控车 V2 实例教程. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2002.
- [26] 孙伟伟. 数控车工实习与考级. 北京: 高等教育出版社, 2004.
- [27] 中国机械工业教育协会组. 数控加工工艺及编程. 北京: 机械工业出版社, 2001.
- [28] 王宝成. 现代数控机床实用教程. 天津: 天津科学技术出版社, 2000.
- [29] 王彪等. 数控加工技术. 北京: 中国林业出版社, 2006.
- [30] 杜国臣等. 机床数控技术. 北京: 中国林业出版社, 2006.